MEMORIA SULL'ABBASSAMENTO DI TEMPERATURA PRODOTTO ALLA SUPERFICIE TERRESTRE...

Macedonio Melloni

MEMORIA

SULL'ABBASSAMENTO DI TEMPERATURA

PRODOTTO ALLA SUPERFICIE TERRESTRE

DURANTE LE NOTTI PLACIDE E SERENE

E SUI FENOMENI CHE NE RISULTANO

NELLE BASSE REGIONI DELL'ATMOSFERA

Letta alla R. Accademia delle Scienze di Napoli nelle tornate de' 23 febbraio, 9 e 16 marzo 1847

DAL SUO SOCIO ORDINARIO

MACEDONIO MELLONI

Uno dei quaranta della Società Italiana delle scienze; Cavaliere dell'Ordine del Merito di Prussia, della Legion d'onore di Francia, de' SS. Maurizio e Lazzaro di Piemonte e del Merito di Toscana. *Socio straniero della Società* Reale di Londra e della RR. Accademie di Stoccolma e di Torino. *Socio onorario* della Società Reale di Edimburgo, della Società delle scienze naturali di Ginevra e dell'Accademia delle scienze di Padova. *Socio corrispondente* dell'Istituto di Francia e delle Accademie delle scienze di Pietroburgo, Berlino, Bologna, Lucca e Palermo, degl'Istituti I. R. di Milano e Venezia, della Società delle scienze naturali di Losanna, della Società *Filomatica* di Parigi, della Pontaniana di Napoli, della Gioenia di Catania ec. ec.

NAPOLI

DALLA TIPOGRAFIA MOSCHITTI

Strada Forno Vecchio n.° 32

1847

BIBLIOTECA
Targ
12

Le prime osservazioni intorno al freddo che s'ingenera ne' corpi esposti nell'aperta campagna durante la notte sotto un cielo puro ed un aria calma furono fatte, per quanto mi sappia, da Wilson mediante due termometri, l'uno adagiato sopra la neve, l'altro liberamente sospeso nell'aria all'altezza di quattro piedi. Gli esperimenti ebbero luogo sul cadere dell'anno 1783. In una di quelle notti il termometro inferiore, a cielo perfettamente sereno, segnava — 21°,7, il termometro superiore, — 15° La differenza, di 6°, diminuì rapidamente all'apparire di alcune nuvole, e cessò del tutto quando il cielo si fù compiutamente rannuvolato: allora ambi i termometri erano a — 13°,9 (1).

Alcuni anni dopo Six trovò che un termometro posato sull'erba di un prato stava, nelle notti calme e serene, parecchi gradi più basso di un altro termometro perfettamente simile, alto cinque o sei piedi, la differenza di queste due indicazioni saliva talora a 7°,5 (2).

(1) Edinburgh Phil. Transac Vol 1 pag 183
(2) Six's posthumous Works. Canterbury 1794

Wells eseguì sul principio del secolo una lunga serie di sperienze analoghe a quelle di Six, ma assai più estese e variate, mettendo i suoi termometri a contatto del semplice terreno, delle foglie de' vegetabili, o rivestendoli di falde di lana, di cotone ed altre sostanze; i fatti termometri tenuti a poca distanza dal suolo, diedero in tempi placidi e sereni, delle differenze di 4, 5, ed anche 7°,5 sotto un termometro uguale, sospeso ad un altezza di 4 piedi (1). Tutte le temperature si ravvicinavano tra di loro, e si agguagliavano talora interamente collo spirare del vento, coll'apparire delle nuvole, oppure quando si stendeva sui termometri, alla distanza di alcuni piedi, un panno orizzontale, per modo da togliere agli strumenti l'aspetto della volta celeste.

Le sperienze di Wells furono ripetute da parecchi fisici e segnatamente da Pouillet, questi adagiò un termometro sulla piuma di cigno, posta entro da quattro sponde di un vaso metallico, il quale poggiava sul terreno, lasciando l'altro, come Wells e Wilson, liberamente sospeso quattro piedi lontano dal suolo: il termometro inferiore si abbassò in alcune notti di 8, e 9° più del termometro superiore (2).

Le differenze di temperatura manifestate in queste varie sperienze tra i due termometri sono evidentemente dovute alla irradiazione calorifica verso le regioni superiori dell'atmosfera, e per restarne convinti basta il fatto della somma rapidità colla quale esse diminuiscono e cessano totalmente al primo apparire delle nuvole, o per la semplice influenza di un ostacolo che impedisca lo scambio calorifico tra i termometri ed il cielo. Ma esaminate colla dovuta attenzione, è facile il convincersi ch'esse non rappresentano punto gli eccessi della irradiazione del termometro inferiore su quella del termometro superiore.

E veramente la temperatura dell'aria a differenti altezze non è uguale, ma varia assai scostandosi dalla superficie terrestre: generalmente il calore aumenta di grado accostandosi al suolo, ma nelle notti calme e serene succede precisamente il contrario. Quest'ultimo fatto osservato per la prima volta da Pictet sulla

(1) Ann. de Chim. et de Phys. T. 5 p. 183

(2) Pouillet Elem. de phys. exp. 4 edit. T. II 1844 p. 610

fine del secolo passato, ed ampiamente confermato da Six, da Marcet e da altri sperimentatori, mostra chiaramente che i corpi più vicini alla terra assumono in virtù del semplice loro contatto col mezzo ambiente una temperatura più bassa di quella dei termometri superiori, e che pertanto la differenza delle due temperature non è tutta dovuta alla irradiazione. D'altra parte il vetro essendo dotato di una gran potenza emissiva, i termometri nudi si raffreddano per irradiazione al pari di quasi tutte le altre sostanze, e non possono quindi indicare sotto l'azione del cielo sereno la vera temperatura dell'aria.

Per avere dei risultamenti comparabili, e giudicare di quanto un termometro coperto od involto in una data sostanza scenda raggiando sotto la temperatura ambiente, conviene dunque trovare il modo di annullare, o almeno di ridurre al minimo termine possibile, l'irradiazione del termometro che misura la temperatura dell'aria; e conviene pure che tutti gli strumenti si mantengano nel medesimo strato orizzontale dell'atmosfera durante le osservazioni.

Siccome i metalli irradiano meno di qualunque altro corpo, parecchi osservatori immaginarono di rivestire il termometro destinato alla misura della temperatura atmosferica con foglie d'oro, d'argento o di stagno: ma questi rivestimenti riescono sempre poco idonei allo scopo per la somma difficoltà di adattare esattamente le foglie sul vetro senza pieghe o staccature, e senza lasciare a nudo alcuna parte del bulbo termometrico. Siccome poi il termometro così vestito di metallo fu unicamente adoperato alla misura delle temperature dell'aria, e che per avere l'effetto della irradiazione delle varie sostanze molti continuarono a far uso di termometri nudi, ne nacque una nuova cagione d'errore per la diversa sensibilità di queste due specie di termometri, i primi essendo necessariamente un po' più pigri de' secondi. È facile il rimuovere l'una e l'altro inconveniente preparando tutti i termometri che si vogliono impiegare nelle ricerche sul raffreddamento notturno, nel modo seguente.

Procacciato un cilindretto di sughero di grana fina e di forma

Pictet. Essais de physique. Genève. 1790. Tom. I p. 180.

e dimensioni presso a poco uguali a quelle di un turacciolo ordinario, si pertugia quest'ultimo da banda a banda, s' introduce nel foro l'estremità superiore di un termometro graduato sul tubo, si fa scorrere il turacciolo sino alla distanza di cinque o sei millimetri dal serbatoio termometrico, e si ferma quivi saldamente col mastice ed alcuna scheggioline di legno o listerella di cartone. Si adagia poscia il tubo termometrico sulla carta, si copia la scala, e si fa trasportare dall'incisore sopra una striscia di avorio sottile: questa scala mobile d'avorio viene applicata al termometro mediante un taglio fatto all' estremità superiore del turacciolo, ed ivi fermata stabilmente con due chiodini, dopo di avere riscontrate esattamente le sue divisioni con quelle del vetro: si raccomanda infine la lamina d'avorio al tubo con alcune delle solite legature di terminama fila metallica. Con questo artifizio l'estremità della colonna di mercurio e il grado corrispondente della scala appariscono distintamente a prima vista guardandoli col lume di una lucerna posta dietro la lamina d'avorio, il che è di non lieve momento per le osservazioni fatte in tempo di notte. Ma una qualità molto più importante di questo termometro si è la somma loro attitudine alle misure di confronto tra la temperatura dell'aria e de' corpi raggianti verso il cielo.

A tal fine si piglia un vasellino d'argento o d'ottone simile a un anello da accire, o ditale, il quale abbia però la superficie liscia e forbita, a dimensioni tali da contenere il bulbo del termometro, e vene posto ad imboccare l'estremità del cilindretto di sughero che deve mantenere il vasellino aderente all'apparecchio, come una bottiglia ben turata al suo turacciolo. Il termometro col bulbo difeso da questa armatura ed il cannello permanente riparato da un astuccio mobile di metallo, perde quasi totalmente, come vedremo, la sua virtù raggiante, e fornisce quindi la vera temperatura dello strato d'aria circonfuso. Quando poi si copra la superficie esterna dell'armatura di negrofumo o di vernice, allora le potenze emissive è recata alla sua massima esaltazione, ed il termometro così rivestito esternamente disposto si raffredda di alcuni gradi, raggiando il proprio calore verso le regioni superiori dell'atmosfera. Tutto ciò risulta chiaro ed evidente dalle seguenti sperienze.

Il giorno 17 settembre prossimo passato (1846) era placido e sereno nella valle di Cava (1) ove soggiornai alcuni mesi per motivi di salute. Alle 8 pomeridiane esposi sopra un terrazzo alto 13 metri sul sottoposto terreno, tre termometri di mano sensibilmente uguali, armati nel modo precedentemente descritto: due erano ad armatura tersa, l'altro ad armatura annerita. Questi termometri stavano disposti orizzontalmente, ed avevano i serbatoi nel fondo di altrettanti vasi di latta conformati a guisa di cono troncato e capovolto, il cui raggio della minor base, cioè il raggio del fondo, era 2 centimetri, e 7 cent. il raggio della base superiore, che formava l'apertura del recipiente e distava 8 cent. dal fondo. I detti vasi posavano su treppiedi alti mezzo metro, formati, *non già con cilindri di vetro o d'altra sostanza raggiante che avrebbe comunicato al recipiente ed al termometro il freddo risultante dalla sua irradiazione verso il cielo*, ma con *sottili tubi di latta*, i quali alla maggior robustezza dei cilindri dello stesso diametro congiungono il vantaggio di presentare poca quantità di materia nella loro sezione trasversale, ed offrendo pertanto una debolissima comunicazione calorifica col piano sottoposto, rendono i corpi sostenuti quasi perfettamente isolati. Per introdurre i termometri ne' recipienti e mantenerli orizzontalmente, ogni vaso aveva un pertugio laterale situato a contatto del fondo e munito internamente di un tubetto metallico abbastanza lungo da coprire una metà del tracciuolo termometrico. I cannelli de' termometri e le rispettive loro scale d'avorio erano contenuti entro leggieri astucci di latta, i quali imboccavano nell'altra metà del tracciuolo sporgente dal vaso, e potevano levarsi e riporsi a piacimento per osservare le indicazioni degli strumenti, *e tenerli riparati* dall'umidità atmosferica, e specialmente *dalle perturbazioni dovute al raffreddamento delle scale d'avorio e de' cannelli di vetro* (2).

(1) Questa valle è situata tra Salerno e Napoli, a 24 miglia circa dalla capitale.

(2) Chi lasciasse i cannelli de' termometri liberamente esposti al l'atmosfera, il freddo prodotto dal loro irraggiamento verso il cielo

Le aperture de' vasi furono dappoi chiuse con dischi di latta. Dopo mezz' ora di esposizione, e per conseguenza a nove

potrebbe turbare sì fattamente le azioni delle sopra materie apposte ai bulbi, da confondere, e distruggere anche del tutto, le differenze dovute al diverso loro potere emissivo.

Ed ognuno se ne persuaderà di leggeri considerando che, nella posizione verticale ove si tiene d'ordinario sospeso il termometro, l'irradiazione produttrice del freddo notturno ha luogo su tutta la superficie del cannello. Il freddo generato negli strati superficiali si propaga lungo le pareti sino al serbatoio e per traverso sino alle molecole liquide della colonna termometrica, le quali si condensano, cadono, e vengono sostituite da una corrispondente porzione di quelle stazionate nel bulbo; per cui si stabilisce una circolazione, che unita alla trasmissione diretta fra la parete cilindrica e la parete sferica conduce una buona porzione del freddo risultante dalla irradiazione del cannello a tutta la massa del liquido termoscopico.

Quando poi si sperimenti in campo, durante le notti calme e serene, l'aria circonfusa ai termometri sarà sempre umidissima. vedremo più innanzi nel testo il motivo di questa grande umidità. Per ora prendiamola come un fatto certo, e ne verrà tosto la conseguenza che quel poco freddo trasmesso dal cannello al bulbo del termometro precipiterà il vapor acqueo sulla sostanza qualunque che lo ricopre. Ora l'acqua essendo sommamente *raggiante*, essa comincerà a raffreddare il bulbo direttamente; e questo freddo diverrà prossimamente uguale a quello del corpo dotato del massimo poter emissivo, per modo che due termometri a cannelli nudi, l'uno de' quali abbia il serbatoio dipinto col nero fumo e l'altro vestito di stagnuolo, esposti di nottetempo all'aspetto del ciel sereno, dopo di aver manifestata una differenza di freddo a favore della prima sostanza, finiranno coll' indicare sensibilmente lo stesso grado di calore.

Questo ragionamento, tanto semplice e naturale per chi conosce gli elementi della fisica odierna, sfuggì alla mente bisognosa di un grande oppositore dei *fisici da gabinetto*, il quale disprezzando la nostra scienza Universitaria, ci sfidava tutti *sul terreno dell' aperta campagna onde farci ravvedere delle nostre false teoriche* vedendo la sua serie di termometri, *a cannelli scoperti*, ed a bulbi vestiti di foglie vegetabili, di metalli, e d'altre sostanze segnare, dopo qualche ora, delle tem-

ore e mezzo, i tre termometri segnavano la stessa temperatura di

perature prossimamente uguali a quella di un termometro nudo liberamente sospeso nell'aria.

Venne poi uno de' proseliti di questo grande oppositore, che non contento di verificare nella propria terra la *solenne mentita* data dal maestro *alla nostra illusione coronata*, e di correre dall'una all'altra estremità dell'Italia superiore onde *farla conoscere e toccar con mano persino all'uomo del volgo*, pensò di variare l'esperienza, che ripetuta su tante campagne, dal 1831 (epoca dell'insigne scoperta del maestro) fino alla metà del 1846, cominciava a tediare per la sua vetustà gl'innocenti testimoni di quelle ripetute vittorie.

Egli fece pertanto fabbricare cinque dischi o piattelli, due de' quali erano d'ottone, un terzo di zinco, un quarto di rame, e l'ultimo di vetro: ciaschedune di loro era munito di una cavità centrale e d'un termometro sorretto da un filo, che fermato sull'orlo del disco si piegava nella estremità sua superiore verso il centro, e terminava in un anello pel quale si faceva calare il termometro sintantochè il suo bulbo penetrasse nella cavità del piattello. I cinque dischi orizzontalmente disposti erano sostenuti da cilindri di vetro piantati nel suolo, tranne uno dei due d'ottone che aveva per sostegno un cilindro dello stesso metallo e della medesime dimensioni di quelli di vetro. Tra l'uno e l'altro disco stavano altri termometri *tutti perfettamente gemelli* tra di loro e coi cinque termometri a contatto dei dischi: l'un d'essi poggiava sulle foglie del *convolvulus sil.*, un altro sul *buxus sempervirens*, ed un terzo era liberamente sospeso nell'aria alla medesima altezza de' piattelli.

I termometri osservati alle 7 pomeridiane del 28 settembre 1846 si trovarono a diversi gradi di freddo; ma alle 5 antimeridiane del giorno susseguente, tutti segnavano a un dipresso la medesima temperatura, tranne quello del disco sostenuto dal cilindro metallico che stava 1°,5 più alto degli altri; prova manifesta, secondo l'autore, *ch'egli riceveva più calorico dal suolo che non ne cedeva per contatto e per irraggiamento*: gli altri termometri erano poi ridotti alla medesima temperatura dal freddo dell'aria circonfusa.

La sfida del maestro e la variante del discepolo dovrebbero rimanere scolpite in lettere cubitali negli annali della scienza, per mostrare ove conduce l'arte di sperimentare e d'argomentare di coloro, che sprezzando le dottrine universitarie, le commissioni accademiche ed il giudizio dei più illustri fisici, seguono *la sola autorità della ragione!* E non s'accorgono, i poverini, che questo disprezzo è figlio di una *ragione spe-*

1[illegible]6; (1) e per parlare più esattamente essi non differivano fra loro che di quelle stesse frazioni di grado (0, 05, e 0, 09) manifestate dai tre strumenti nudi immersi in un gran vaso d'acqua tiepida. Alle dieci si osservarono di nuovo i termometri, e si trovò che tutti e tre indicavano una temperatura di 17°,3. Alle dieci e mezzo le tre colonne termometriche segnavano 17°,1.

Da queste prime osservazioni appariva già manifestamente che le armature terse di metallo ond'erano rivestiti i due primi termometri, e le pareti parimente metalliche de' tre recipienti, non si raffreddavano punto sensibilmente per irradiazione; altrimenti, i termometri ad armatura lucida avrebbero indicate una temperatura superiore a quella del termometro ad armatura annerita. Ma siffatta conclusione riesci poi evidentissima quando si tolsero i coperchi de' due ultimi recipienti, lasciando così un solo dei due termometri ad armatura tersa,

[illegible] che un fatto nuovo o un principio tendente a semplificare le teoriche ricevute non possono oggimai essere accolti favorevolmente dalla generalità de' veri sapienti, se la ragione *universale* non è prima convinta della verità del fatto, e della necessità dell'idea!

La fisica è certamente lontana dall'ultima perfezione, e tra le varie sue diramazioni ve ne stanno molte, senza alcun dubbio, che abbisognano di riforma. Cerchiamo dunque con ogni nostra possa il miglioramento ed il progresso; immaginiamo, se occorre, delle dottrine più o meno opposte alle teoriche insegnate nelle scuole. E quando uno studio indefesso ci avrà condotti a qualche scoperta che ci parrà utile alla scienza, esponiamola pure francamente e senz'alcuna reticenza, ma colla dovuta modestia, ed in forma civile. Ricordiamoci, che i modi scortesi e villani non giovano al vero e tornano a danno di chi li adopera; che la tracotanza sta male alle menti le più sublimi e diventa ridicola negli ingegni mediocri. E invece di corteggiare le intelligenze rozze e volgari di qualsiasi classe sociale, procuriamo di far trionfare onestamente e scientificamente i frutti delle nostre meditazioni presso i nostri giudici naturali, onde accrescere così, coll'assenso generale delle persone colte ed istrutte, la probabilità di non essere traviati dal buon sentiero.

(1) Tutte le temperature notate in questa memoria sono in gradi del termometro centigrado.

o metallico nelle condizioni di prima. Allora il termometro annerito incominciò a scendere rapidamente: dieci minuti dopo egli era giunto alla massima sua depressione, e segnava 3°,4 meno del termometro contenuto nell'altro vaso scoperto, e questo indicava la stessa temperatura del termometro appartenente al vaso chiuso.

Ora l'immobilità del termometro metallico nel vaso aperto, e l'eguaglianza della sua indicazione con quella del termometro metallico nel vaso chiuso, mostrano irrefragabilmente due cose: 1.° che l'abbassamento del termometro annerito è dovuto alla irradiazione verso il ciel sereno e non al contatto dell'aria esterna; 2.° che l'irradiazione del termometro metallico è nulla, o almeno talmente debole, in questa sorta di esperienze, da sfuggire all'osservazione immediata.

La prima conclusione è perfettamente conforme a quanto sappiamo intorno alla gran potenza emissiva del nero di fumo: ma la seconda trovasi in opposizione col rapporto tra la predetta potenza emissiva del nero di fumo e quella che s'attribuisce ordinariamente alle superficie metalliche. E di fatto, chiamando 100 l'irradiazione calorifica del nero di fumo, l'oro, l'argento, lo stagno il rame e l'ottone irradierebbero tutti come 12 stando alle sperienze di Leslie adottate in tutti i corsi di fisica. Il freddo concepito dal termometro nero in virtù della sua libera esposizione al cielo essendo 3°,4, il termometro metallico scoperto avrebbe portato dovuto raffreddarsi di $\frac{12}{100}$ 3°,4 ossia 0,41, quantità sensibilissima in uno strumento che portava la scala divisa in quinti di grado; e l'esperienza non mostrava alcuna depressione sensibile nella colonna del termometro metallico scoperto.

D'altra parte, se le superficie metalliche non posseggono quella energia di emissione calorifica attribuita loro generalmente dai fisici, non era certo presumibile che fossero assolutamente prive della facoltà raggiante.

Cercai pertanto di ripigliare colla massima accuratezza gli esperimenti di confronto tra le irradiazioni del nero di fumo e de' metalli esposti all'azione del ciel sereno.

Chi ha avuto occasione di paragonare con molta precisione gli andamenti di parecchi termometri posti nelle medesime circostanze si sarà certo convinto, che qualunque siasi l'abilità del fabbricante e la perfezione delle operazioni conducenti alla determinazione dei punti di confronto difficilmente si ottiene l'eguaglianza delle indicazioni di due termometri con una esattezza superiore al decimo di grado. Questo difetto sarebbe di poco momento nelle ricerche, le quali tendono, come le nostre, ad una determinazione di puri valori relativi, non assoluti, qualora si conoscessero esattamente le differenze esistenti tra l'uno e l'altro termometro; imperocchè le osservazioni diverrebbero comparabili riducendo tutte le indicazioni a quelle del termometro che segna la minima o la massima altezza, ed aggiungendo o levando le rispettive differenze dedotte da una serie di osservazioni eseguite ad una temperatura costante. Ma l'esperienza dimostra che la differenza dei due termometri non si mantiene generalmente costante ne' punti della scala distanti tra di loro, e che tale differenza è anche ordinariamente diversa ne' punti vicini, secondo che i due termometri vengono esposti ad una variazione più o men rapida di temperatura.

Per ovviare questa difficoltà, scelsi primieramente nella mia collezione i tre termometri *atmosferici* che camminavano più concordemente, ed avvolti nel modo dianzi descritto gl'introdussi ne' rispettivi loro recipienti così chiusi, e li esposi sulla loggia alle 8 pomeridiane del 9 Ottobre (1) per un tempo placidissimo e sereno. Chiamiamo per maggior chiarezza e brevità A, B, C i tre termometri. Mezz'ora dopo si comincia-

(1) Vedendo un intervallo di 22 giorni tra queste e le precedenti sperienze, non se ne deve punto inferire che in tutto lo stadio intermedio la stagione non fosse stata propizia alle osservazioni, come risulterà chiaro da altre date inserite nel progresso del presente lavoro, ma bensì che le sperienze di cui è parola non furono punto eseguite secondo l'ordine adottato in questo scritto. Le idee ed i fatti non procedettero sempre regolarmente come dovrebbe; ma terminato il lavoro ho procurato di ordinare i materiali raccolti il meglio che per me si poteva.

rano ad osservare gli strumenti, le cui indicazioni notate di tre in tre minuti fornirono i dati seguenti

ORA dell' osservazione		TEMPERATURE de tre termometri anneriti contenuti ne recipienti chiusi		
		A	B	C
8h	30'	17,80	17,88	17,90
»	33	17,79	17,83	17,84
»	36	17,77	17,80	17,82
»	39	17,73	17,75	17,80
»	42	17,73	17,72	17,75
		88,82	88,98	89,11
	medie	17°,764	17°,796	17°,822

Le differenze riferite al minimo valore, ossia alla media indicazione di A erano dunque in questo caso

17°,796—17°,764=0°,032 per B, e 17°,822—17°,764=0°,058 per C.

Si tolsero poi le lamine metalliche che coprivano i recipienti, ed alle ore 9, e 15' si notarono di bel nuovo ogni tre minuti le indicazioni de' termometri. Ecco i risultamenti di queste ultime osservazioni.

ORA delle osservazioni		TEMPERATURE de termometri anneriti contenuti ne recipienti aperti		
		A	B	C
9h	15'	14°,15	14°,20	14°,24
»	18	14,13	14,17	14,22
»	21	14,13	14,17	14,19
»	24	14,12	14,13	14,18
»	27	14,10	14,12	14,15
		70,63	70,79	70,98
	medie	14°,13	14°,158	14°,196

Prendendo le differenze tra B, C, ed A si ottiene 14°,158—14°,13=0°,028 per B, e 14°,196—14°,13 = 0°,066 per C, le quali differenze sono sensibilmente uguali alle precedenti, entro i limiti degli errori possibili a commettersi nella stima

delle frazioni inferiori ai decimi di grado, che stavano segnati direttamente sulla scala lasciando tuttavia un intervallo notabile tra l'una e l'altra divisione.

Le medie di queste due coppie di differenze sono 0,030, e 0°,052. Poteva dunque ritenersi che tra 14, e 18°, e le temperature poco discoste da questi due limiti, conveniva levare 0°,03 dal termometro B, e 0°,052 dal termometro C, onde avere la temperatura del termometro A.

Determinata così le correzioni da farsi, *nelle circostanze attuali dell'esperienza*, spogliai i termometri A e B delle loro armature esterne e li circondai di armature d'argento terso e pulito. I termometri furono poscia riposti ne' loro recipienti e ricoperti, come pure il termometro C, che lasciossi ornato dell'armatura annerita.

Il tempo continuava placido e sereno, e la temperatura dell'aria non s'era gran fatto alterata nell'stanza ove stavano riposti gli apparecchi. Alle ore 10, A segnava 17°,65, B, 17°,69; C, 17°,70: applicando ai due ultimi le rispettive loro correzioni si ha 17°,66 per B, e 17°,648 per C, di maniera che i tre termometri erano alla medesima temperatura. Allora si rimossero i coperchi di B e di C, lasciando chiuso A; ed alle ore dieci e mezzo si rincominciarono le osservazioni, i cui risultamenti stanno raccolti nella tabella seguente.

ORA delle osservazioni		TEMPERATURE de' termometri nel rispettivo loro recipiente: chiuso	aperto	
		A metallico	B metallico	C annerito
10h	0h	17,55	17,50	14,07
»	3	17,55	17,18	14,05
»	6	17,53	17,44	14,05
»	9	17,54	17,44	14,03
»	12	17,52	17,42	14,03
»	15	17,53	17,41	14,02
»	18	17,51	17,39	14,00
»	21	17,50	17,37	13,95
»	24	17,50	17,36	13,92
»	27	17,49	17,34	13,92
		175,22	174,13	140,03
	medio	17,522	17,413	14,003
		0,000	0,030	0,062
	medie corrette	17,522	17,383	13,941

Sottraendo dalla media di A le medie corrette di B e di C si hanno le differenze, 0°,108 per B, e 3°,581 per C: e però fatto 3,581=100, il valore del poter emissivo o raggiante dell'argento ond'era formata l'armatura del termometro B sarà

$$\frac{106}{3581}100=3,026$$

il qual valore può considerarsi esatto entro un limite d'errore di 15 o 20 millesimi, come risulta manifestamente, e dalla natura degli strumenti adoperati, e dalla somma regolarità delle serie d'osservazioni: concludiam dunque che l'argento laminato, irradia quattro volte circa meno di quello che si è ancora momento dai fisici.

Questo risultato concorda singolarmente colle ricerche sul poter raggiante dello stesso metallo istituite ultimamente dai signori La Provostaye et Desains, mediante il termomoltiplicatore o il cubo di Leslie. Infatti chiamando sempre 100 il poter raggiante del nero di fumo, l'argento precipitato chimicamente sul rame irradierebbe, secondo questi signori, 5,37 allo stato naturale,

e 2,10 essendo brunito; il poter *emissivo* dell' argento ordinario sarebbe 2,94 appena uscito dal laminatoio e 2,38 dopo di essere brunito. Sin dal 1838 io aveva già dedotto da alcune mie osservazioni che la differenza di poter emissivo manifestata nella famosa sperienza di una superficie scabra e di una superficie liscia e polita dello stesso metallo, non derivava punto, come credevasi allora generalmente, dalla maggiore o minor lisciatura della superficie, ma sì bene dalla variazione di densità, prodotta nelle *sostanze metalliche*, dalle intaccature o sfregi fatti per convertire la superficie liscia in superficie scabra, i quali sfregi, nel caso ordinario dei metalli laminati, scoprivano la parte interna più tenera o più raggiante della crosta superficiale; per cui siffatti cambiamenti di densità bastavano a render ragione del fenomeno osservato persino nel caso di un metallo incrostabile. Tale proposizione mi parve irrefragabilmente dimostrata dai due fatti seguenti: 1° l' argento fuso e lentamente freddato nella forma, polito coll' olio e il carbon dolce, poscia rigato colla punta di diamante per modo da comprimere e condensare il fondo de' solchi, diminuisce, in vece di aumentare, la propria forza radiante passando dallo stato di forbitura allo stato di ruvidezza: 2° questa medesima sorta d'argento polito scema egualmente di poter emissivo battendola fortemente sull'incudine o passandola al laminatoio (1). Ora ognuno vede che le sperienze dei due fisici francesi sono venute a confermare questi fatti in altro modo; imperocchè l'argento precipitato e lentamente sul rame essendo molto meno duro e denso dell' argento laminato, e questo ancora meno dell argento brunito, le loro irradiazioni trovansi appunto in ordine inverso delle densità. Le differenze da me studiate si ascrivano unicamente al poter raggiante del metallo nel suo stato di maggiore attività, dove alle sperienze dei signori La Provostaye e Desains determinano la potenza emissiva dell' argento o d'altri metalli relativamente al nero di fumo.

A questa differenza travveduta, o ad altro dato erroneo, devesi certamente attribuire l'inesattezza storica contenuta nello stro-

(1) *Bibliothèque Universelle* de Genève An 1838

durante della loro memoria. Secondo gli autori, il rapporto sinora ammesso tra il poter emissivo de metalli, e quello del nero di fumo risulterebbe tanto dalle sperienze di Leslie, quanto dai lavori di Petit e Dulong, e dalle mie ricerche. È veramente che Petit e Dulong trovarono dei risultati poco diversi da quelli di Leslie (1): ma nessun lavoro su tale oggetto fù per me reso di pubblica ragione. Le sole questioni che mi parvero sufficientemente chiarite dall' esperienza per meritare l'attenzione dei fisici, furono, l'azione delle scalfitture poc'anzi cennata, e l'azione del colore, ambedue sentite negativamente, poi l'influenza che la grossezza dello strato raggiante del corpo nudo esercita sul fenomeno della irradiazione, unica sorgente, a parer mio, delle enormi differenze che si manifestano tra i poteri emissivi delle varie sostanze. Quanto alla determinazione numerica della irradiazione de' metalli riferita a quella del nero di fumo, ognuno può di leggieri convincersi che non se ne trova fatta veruna menzione nelle diverse memorie da me pubblicate intorno al calorico raggiante.

Soggiungerò infine che esperimenti analoghi a quelli de' signori La Provostaye e Desains mi avevano già svelato, forse prima di loro, l'errore annunziato da questi egregi fisici. Ma il divario tra il nuovo e l'antico valore era tanto grande da farmi sospettare qualche difetto di costruzione nel termomoltiplicatore adoperato. Ora il sospetto trovasi interamente rimosso dalla concordanza dei risultati ottenuti con metodi sì diversi, come sono l'irradiazione diretta del metallo riscaldato sul termomoltiplicatore e l'irradiazione d'un termometro ordinario ad armatura metallica verso il ciel sereno. Speriamo che queste osservazioni vengano ripetute e completate dai fisici, e che presto i valori inesattissimi de' poteri emissivi dell'oro, dell'argento, del rame, dello stagno, dell'ottone, dedotti dalle ricerche di Leslie, Petit e Dulong siano cancellati dalle opere scientifiche e sostituiti da numeri più precise.

L'andamento parallelo de' termometri ad armatura liscia non

(1) Recherches sur la mesure des températures etc. par Dulong et Petit. Paris 1818 p. 75.

vasi chiusi od aperti, la debolissima differenza delle loro indicazioni, mostrano che tutte due rappresentano la temperatura dello strato d'aria ove gli apparecchi sono immersi durante le notti calme e serene, e che pertanto la chiusura del vaso è al tutto indifferente quando l'indole delle ricerche non esiga una somma precisione di misure. Egli è poi evidente che se la presenza del vaso le sue pareti tendono ad aumentare il raffreddamento del termometro, riparandolo dall'irradiazione del suolo, riflettendo ad esso il calore raggiato dallo strumento verso la superficie terrestre, o mantenendo in quiete l'aria circonfusa, egli è poi evidente dissi, che se la presenza di un tal vaso non altera sensibilmente l'indicazione termometrica relativa alla temperatura dell'aria ambiente, questa temperatura dovrà essere fornita con una precisione anche maggiore dal termometro solo riparato dall'astuccio metallico e tenuto liberamente nell'aria, mediante alcuni sostegni metallici lunghi e sottili riuniti insieme a guisa di treppiede, e terminati in un tubo che abbracci la parte centrale del turacciolo di sughero onde son muniti i nostri termometri destinati alle sperienze d'irradiazione notturna.

Il modo di ottenere la vera temperatura dell'aria essendo conosciuto, la determinazione dei rapporti di *freddo*, o depressioni de' termometri sotto la temperatura dell' aria dovute alla irradiazione delle varie sostanze, non presenta più nessuna difficoltà. Basterà in fatti applicare le dette sostanze sulle armature di altrettanti termometri, che verranno introdotti ne' rispettivi loro vasi conici, ed esposti di notte all'aperto, per un tempo quieto e sereno, insieme al termometro tutto armato di metallo forbito proprio a svelare ad ogni istante la temperatura dell'aria, che per maggiore chiarezza diremo *termometro atmosferico*. Tutti i bulbi termometrici dovranno trovarsi alla medesima altezza. Ogni termometro verrà comparato a diversi intervalli di tempo di 5, o 6 minuti l'uno, col termometro atmosferico. L'azione frigorifica della sostanza che lo ricopre sarà uguale alla differenza de' due strumenti, quando tale differenza si mantenga costante per due o tre osservazioni consecutive.

Ecco alcuni risultati ottenuti con questo metodo la notte del 17 ottobre p. p.

NOME del corpo raggiante	TEMPERATURA		Differenze	Rapporti
	del corpo	dell'aria		
Nero di fumo	14,21	17,61	3,40	100
Carbonato di piombo	13,94	17,30	3,36	99
Vernice	14,10	17,42	3,30	97
Colla di pesce	13,67	16,93	3,26	96
Vetro	13,63	16,79	3,16	93
Piombaggine	13,60	16,32	2,92	86

In queste sperienze, ed in qualunque altra ove trattasi di paragonare tra di loro i varî gradi di freddo notturno dovuti ad una diversa energia del poter emissivo, è d'uopo operare lontano dal suolo, e per un tempo perfetto secco, perchè se l'aria è talmente umida da lasciar precipitare il vapor acqueo in forma d'un debole grado di freddo, le differenze segnate dai termometri ad armature diverse si veggono prima apparire, poscia dileguarsi a poco a poco, ed ognuno ne intenderà la cagione considerando che le superficie dotate di diversa virtù raggiante si coprono tutte di goccioline d'acqua, e tendono pertanto ad assumere il grado di potenza emissiva che appartiene a questo liquido.

Se le sostanze di cui si desidera conoscere il poter emissivo non possono applicarsi sull'armatura metallica del termometro, come la sabbia, il terriccio, il legno, e le foglie delle piante, allora si lascia l'armatura tersa, e s'introducono le materie nel fondo del recipiente conico, in quantità tale che raccolte ed ammucchiate intorno al termometro lo avvolgano e male pena il serbatoio. Il freddo risultante dalla loro irradiazione si comunica, come nelle sperienze precedenti, al corpo termoscopico, che finisce per segnare un abbassamento di temperatura più o meno grande secondo la serenità del cielo, la calma dell'aria, e la natura del corpo raggiante.

Sette vasi preparati a questo modo, il primo con nero di fumo in polvere, il secondo con erba, il terzo con foglie d'olmo e di pioppo, il quarto con terra vegetabile, il quinto con a-

rena selciosa, il sesto con segatura di pioppo, il settimo con segatura di mogano, diedero la notte del 27 settembre i risultamenti qui sotto riferiti

NOME del corpo raggiante	TEMPERATURA		Differenze	Rapporti
	del corpo	dell'aria		
Nero di fumo	17,30	20,40	2,90	100
Erbe diverse e foglie locate	17,24	20,23	2,99	103
Foglie d'olmo e di pioppo	17,17	20,10	2,93	101
Segatura di pioppo	17,51	20,38	2,87	99
Segatura di mogano	17,05	19,80	2,75	95
Arena selciosa	17,45	20,15	2,70	93
Terra vegetabile	17,02	19,69	2,67	92

Nota. Le osservazioni furono fatte tra le 8h e le 11h 30'. Verso mezzanotte alcune nubi cominciarono a sorgere rapidamente dal lato di Napoli: le porzioni di cielo erano completamente rannuvolate. Tutti i termometri segnavano 20° circa a 12h 25'.

Qui il freddo è un po minore, perchè una porzione dell'effetto dovuto alla riflessione delle pareti non può più esercitarsi dal termometro come nel caso precedente; ma *l'irradiazione ed il freddo consecutivo si manifestano indistintamente nelle terre, sabbie, legni, e foglie delle piante, come nel nero di fumo*: e quantunque i dati non siano rigorosamente comparabili a cagione della varia conducibilità e della varia massa delle sostanze sperimentate, il potere emissivo di queste sostanze terree e vegetabili non sembra differire gran fatto da quello del nero di fumo.

Che i diversi gradi di *freddo*, osservati nelle sperienze precedenti, siano pure conseguenze del calore vibrato verso lo spazio o le alte regioni dell'atmosfera dalle varie sostanze le quali inviluppano l'armatura termometrica, nessuno può ragionevolmente dubitarne, vedendolo scemare con tanta rapidità e cessare compiutamente quando le nuvole, simili ad immensi dia-

fenomeni, s' interpongono tra cielo e terra intercettando l' irradiazione calorifica diretta all' insù, e compensandola più o meno con una irradiazione contraria.

Un' altra dimostrazione egualmente concludente della medesima verità si è la cessazione d' ogni divario tra l' uno e l' altro termometro vestito, ed il perfetto loro eguagliarsi col termometro ad armatura tersa e polita, quando si chiudono le aperture dei recipienti co' rispettivi dischi di metallo.

Quanto poi alla porzione più attiva del cielo in così fatti fenomeni, è facile il convincersi essere dessa situata sul zenit del luogo di osservazione. E veramente, se durante gli esperimenti eseguiti per un tempo sereno, il cielo venga a coprirsi gradualmente di nuvole, le differenze tra i termometri vestiti di sostanze raggianti ed il termometro a superficie metallica si vedono diminuire lentissimamente, tanto che le nubi si mantengono ancor lontane di 30 a 35° dalla verticale innalzata sul luogo d' osservazione. Oltrepassato una volta il detto limite, le differenze dei termometri scemano prestamente, e cessano del tutto allorchè lo spazio angolare di 35° intorno al zenit è totalmente rannuvolato. Ma senza aspettare questi cambiamenti di tempo, i quali sono per troppo facili ad incontrarsi da chi è occupato in una serie alquanto estesa di osservazioni sul raffreddamento notturno, si può con un semplicissimo artifizio arrivare alla medesima conclusione. E basta di fatto inclinare l' asse del vaso conico che contiene il bulbo di un termometro ad armatura invernicata per vedere, durante la massima calma dell' atmosfera e la più limpida serenità di cielo, il termometro conservare sensibilmente lo stesso grado di freddo, sinattantochè l' inclinazione non formi colla verticale un angolo di 30, o 35°: ma passato questo limite, la temperatura del termometro si accosta sollecitamente a quella dell' atmosfera, e ne differisce appena di una frazioncella di grado, quando l' asse del recipiente trovasi in situazione orizzontale.

La proporzionalità della quantità di calore al seno dell' angolo formato dai raggi colla normale all' elemento della superficie raggiunta condusse Fourier a dedurne, mediante alcune semplici considerazioni matematiche, che l' irradiazione calorifica non parte

solamente dalla superficie dei corpi, ma anche da una certa profondità, confermando in tal guisa teoricamente una proposizione già dimostrata dalle sperienze di Leslie e di Rumford.

Per verificare il fatto rispetto alla irradiazione notturna, si preparavano due termometri a turacciolo, in guisa che l'uno porti la propria armatura dipinta con una sola mano d'una vernice fluidissima, e l'altro con otto o dieci mani, e sottoposti ambedue di notte all'aria aperta entro i rispettivi lavori conici, si vedrà il primo mantenersi costantemente più alto del secondo. Alle 7 pomeridiane del 26 settembre io disposi sul mio terrazzo due di questi termometri inverniciati, più un altro ad armatura tersa. Un'ora dopo le tre indicazioni erano 19°,4, 18°,9, 18°,5, la prima appartenendo alla superficie metallica, la seconda alla superficie coperta di una sola mano di vernice, la terza alla superficie rivestita con dieci mani della medesima sostanza. Gli stessi strumenti osservati alle 9 segnavano 18°,2, 17°,7; 15°,8. Concludiamo che qui, come nelle sperienze di Leslie e di Rumford, una porzione della irradiazione cui è dovuto il freddo dei termometri deriva dal calore vibrato dai punti situati ad una certa profondità sotto la superficie.

Siffatta proprietà calorifica, manifestata nel passaggio del calore ordinario allo stato raggiante, rende perfettamente ragione di un fenomeno che certi osservatori credono sufficiente a rovesciare da capo a fondo la teorica di Wells intorno alla formazione della rugiada. Tutti sanno oramai che secondo questo dotto inglese, la rugiada sarebbe una conseguenza immediata della irradiazione notturna, la quale genera nelle piante ed altri corpi esposti all'aria libera, il freddo necessario alla precipitazione del vapor acqueo trasparente ed invisibile diffuso per l'atmosfera. Ora supposta vera la tendenza al raffreddamento de' corpi sotto l'azione del ciel sereno, dicono i predetti osservatori, essa verrebbe compensata dal calore dell'aria circostante, massimamente quando il corpo è esilissimo, e quindi dotato di poca massa rispetto alla superficie: e però i ragnateli sparsi in tanta copia per le campagne in certe stagioni dell'anno, non potendo scendere sotto la tem-

peratura ambiente, dovrebbero restare di notte più asciutti di qualunque altro corpo; ed osservasi precisamente il contrario; poichè le tele di ragno sono quelle che, a parità di circostanze, s'irrorano più copiosamente di rugiada. Ma l'obbiezione suppone un assoluto ignoranza del fatto rammentato poc'anzi, e delle cognizioni più elementari di fisica.

E per vero, siccome il contatto dell'aria ha luogo alla sola superficie, e così l'irradiazione succede tanto alla superficie quanto ne' punti situati ad una certa profondità, i corpi raggianti di notte tempo verso il ciel sereno possono paragonarsi ad un vaso pieno d'acqua, il cui fondo venisse traforato con diverse aperture, mentre a compenso della perdita sufficiente si facesse arrivare, per mezzo di un secondo recipiente di medesima forma e dimensioni, l'acqua sgorgante da una sola apertura di diametro uguale ad una delle precedenti, e fosse pure la più ampia di tutte: l'acqua affluirebbe di continuo nel vaso, e tuttavia il livello del liquido dovrebbe necessariamente scemare. Così scema per l'appunto la temperatura del corpo raggiante verso il cielo, a malgrado del calore incessantemente recatogli dal contatto dell'aria circonfusa. Ora, supponendo che un disco o cilindro formato di una data quantità di materia raggiante divenga di più in più esteso e sottile, la superficie di contatto coll'aria andrà certamente aumentandosi; ma s'andrà pure aumentando nella medesima ragione lo strato sottoposto che irradia liberamente il proprio calore all'esterno: per cui, a primo aspetto, non si vede nessun motivo onde il raffreddamento dei corpi minuti sia maggiore o minore di quello delle altre sostanze raggianti. Ma la minima riflessione basta per convincersi che le tele di ragno devono raffreddarsi più de' corpi di maggior volume. Infatti, attesa la somma loro tenuità, questi corpicciuoli *irradiano da tutti i punti della massa*: e per lo stesso motivo della gran minutezza, essi non traggono alcun calore sensibile dal loro contatto co' steli, foglie, o rami delle piante, essendo ben noto a chiunque possegga i primi rudimenti scientifici, che tanto la conducibilità calorifica quanto la conducibilità elettrica decrescono rapidamente col diametro dei corpi.

Ora queste due circostanze d'una irradiazione libera, nume-

diata, di tutti i punti interni, e d'un afflusso di calore sensibilmente nullo dalla parte del suolo e dagli oggetti circostanti sono tutte proprie e speciali delle sostanze ridotte in fili di una somma tenuità: il raffreddamento di questi fili deve dunque superare in prontezza ed energia il freddo generato negli altri corpi; e perchè la rugiada deriva per ipotesi, da così fatti raffreddamenti, ognun vede che l'abbondanza delle stille rugiadose sui ragnateli è favorevole, e non contraria, alla teorica adottata dai fisici: e coloro che dichiarano il fatto diametralmente opposto alla detta teorica, somministrano una prova manifesta di non essere giudici competenti in questa sorta di studi.

Vedremo tra poco le analoghe conclusioni d'altri fatti e d'altre osservazioni che i medesimi giudici incompetenti credono contrari alla spiegazione della rugiada fondata sul principio dell'irradiazione notturna. Ma intanto notiamo che, secondo questo principio, *il freddo de' corpi deve necessariamente precedere la deposizione della rugiada sulla loro superficie*. Tale proposizione confermata dalle osservazioni di Wells, può facilmente dimostrarsi coi nostri apparecchi.

E basta infatti esporre nell'aperta campagna due dei vasi conici di latta dianzi descritti, l'uno de' quali contenga un termometro ad armatura di metallo terso, e l'altro un termometro ad armatura di metallo inverniciato. Chiusi entro i rispettivi loro vasi, i termometri segneranno amendue la stessa temperatura, ma tolti i coperchi, e verificato il fenomeno già menzionato dell'immobilità del termometro metallico e dell'abbassamento del termometro inverniciato, si osservi di quando in quando la superficie di quest'ultimo, e la si vedrà prima limpidissima e forbita, poscia gradualmente appannata, indi aspersa di stille rugiadose. Fenomeni totalmente analoghi si manifesteranno in qualunque sostanza raggiante: per esempio, sull'erba sovrapposta, come si disse dianzi, al termometro del secondo recipiente conico, allora è interessante il parallelo colle foglie d'oro d'argento o di rame tagliate in istriscie di medesima larghezza dell'erba, e disposte com'essa in corona sull'armatura metallica del termometro d'un altro vaso conico: poichè in questo terzo vaso non avvi nè freddo nè rugiada; nel secondo, la rugiada, e non appa-

esce, e precipita costantemente dopo che il termometro ha segnato un abbassamento di due o tre gradi sotto la temperatura dell'aria. Il intervallo tra il freddo manifestato dal termometro, e la precipitazione della rugiada è sempre sensibilissima, persino nei tempi più umidi: non giunge a parecchie ore ne' tempi di mezzana umidità; e in tempo secco l'erba si conserva asciutta per tutta la notte. Egli è poi facile l'avere contemporaneamente questo diverse fasi, ed ingrandire pertanto a potamento, l'intervallo frapposto tra il freddo del termometro e l'apparizione della rugiada, operando in situazioni più o meno elevate, come sarebbero a cagion d'esempio, battuti di torri, terrazzi, o logge più o meno lontani dal suolo: perchè entro certi limiti d'altezza, l'umidità dell'atmosfera aumenta rapidamente di notte accostandosi alla superficie terrestre, in conseguenza di certa azione o reazione di temperatura tra le piante, e l'aria circonfusa, che esam neremo distesamente in seguito.

Si disse dianzi che le sperienze di Wells, Pouillet ed altri fisici intorno al raffreddamento notturno dei corpi, non sono atte a far conoscere di quanti gradi la temperatura di una data sostanza può scendere sotto quella dell'aria in virtù della irradiazione, perchè gli strati dell'atmosfera avendo, durante le notti calme e serene, una temperatura molto più fredda in vicinanza del suolo che ad una certa distanza, ed i termometri a contatto delle sostanze raggianti trovandosi più bassi del termometro destinato alla misura della temperatura dell'aria, quest'ultimo strumento segna un grado di calore più elevato del dovere. Difatti i nostri termometri ad armatura vestita comparati alla medesima altezza col termometro ad armatura nuda ci han somministrato dei raffreddamenti inferiori d'assai alle misure ottenute dai predetti fisici, malgrado i recipienti conici da noi adoperati, i quali ingrandiscono colla riflessione e colla quiete dell'aria circonfusa, l'azione frigorifica dovuta all'aspetto del cielo. Rimossi questi recipienti, l'abbassamento de' termometri vestiti sotto la temperatura dell'aria circonfusa decresce sempre più, come lo dimostra la serie d'osservazioni contenute nella tavola seguente.

NOME del corpo raggiante	TEMPERATURE		Differenze
	del corpo	dell'aria	
Nero di fumo	14,1	15,4	1,3
Vernice	14,0	15,5	1,5
Vetro	14,1	15,3	1,2
Piombaggine	14,0	15,1	1,1

Il nero di fumo, che qui ed altrove si è sempre mostrato uno de' corpi più radianti, venne più misurato in molte altre circostanze, perciocchè ogni apparecchio messo in esperienza fu sempre accompagnato da una coppia di termometri liberi, uno ad armatura metallica, l'altro ad armatura annerita, e non mi fu mai dato di vedere la differenza di questi due strumenti oltrepassare 1°,8, qualunque si fosse la limpidezza del cielo, e la quiete dell'atmosfera.

Vi sono però certi casi ove un corpo liberamente sospeso può abbassarsi di 4 e 5° sotto la temperatura dell'aria. Infatti la temperatura d'un termometro avvolto nella lana o nel cotone si troverà sempre più o meno inferiore a quella di un termometro annerito. Ma questo eccesso di freddo non deriva punto da una superiorità di poter emissivo della lana e del cotone sul nero di fumo. E per esserne convinti basta confrontare gli effetti di vari termometri vestiti di falde di cotone o di lana più o meno compresse, e di tessuti più o meno fini e grossi delle medesime sostanze non colorate.

Si troveranno qui sotto riuniti i dati sperimentali che somministrano gli elementi opportuni a così fatti confronti.

INVILUPPO DEL TERMOMETRO	Abbassamento sotto la temperatura dell'aria circostante		
	1.ª serie	2.ª serie	3.ª serie
Cotone cardato e libero: 6 centimetri di diametro, compreso il bulbo termometrico	3,8	4,3	4,7
La medesima quantità di cotone ridotta a 2 centim. con 6 giri di filo cotone	2,8	3,4	3,7
Tela di cotone volgarmente detta *fustagno*	2,5	3,2	2,9
Tela fina di cotone doppia	1,2	2,2	2,4
Lana cardata e libera: 6 centimetri di diametro compreso il bulbo termometrico	3,1	3,6	3,6
La medesima quantità di lana ridotta a 2 centim. con 6 giri di lana filata	2,5	3,0	3,2
Pannolano volgarmente detto *flanella*, grosso	2,	2,3	2,6
Idem, fino	1,8	2,1	2,5

Tra i frutti di queste osservazioni, il freddo si fà dunque tanto più intenso, quanto più rari e voluminosi intorno al termometro diventano, o la lana, od il cotone. Ora se l'azione accrescesse coll'addensarsi della materia, la causa *dell'eccesso di freddo* osservato non risiede evidentemente nel potere emissivo o radiante del corpo. Donde proviene adunque la superiorità frigorifica della lana e del cotone rispetto al nero di fumo? La soluzione del quesito risulterà chiara e manifesta quando esamineremo le varie circostanze che contribuiscono alla formazione della rugiada.

E cominciando ad occuparci direttamente di questa meteora, notiamo in primo luogo che il suolo ed i vegetabili non sono dell'indole della lana e del cotone, imperocchè l'erba, le terre, e segature di legno introdotte nei nostri vasi aperti

si vedono raffreddarsi presso a poco quanto il nero di fumo in polvere; ed un termometro dipinto con questa sostanza non si abbassa più di 1°,5, come si disse d'anzi, sotto la temperatura dell'aria circonfusa. Mettendo poi uno de' nostri termometri ad armatura metallica e sostenuto dal suo treppiede di metallo, in contatto colla superficie inferiore di una foglia vegetabile di qualunque specie di pianta, esso rimane, nelle notti placide e serene, costantemente più basso di un termometro atmosferico disposto alla medesima altezza: ma questo abbassamento non oltrepassa mai i 2°, per quanto la pianta sia vivace, rigogliosa, ed isolata. E non converrebbe già attribuire la debolezza dell'effetto manifestato alla poca massa della foglia rispetto a quella del termometro, perchè si possono adoperare de' termometri di piccolissimo volume, di forme cilindriche o sferiche, più o meno schiacciate e sottili, senza che la misura finale del freddo cambi sensibilmente; quantunque la prontezza dell'equilibrio calorifico avvenga tanto più sollecitamente, com'era facile il prevederlo, quant' è minore il bulbo termometrico. Ora questi fatti, confermando irrefragabilmente la verità del principio di Wells sulla irradiazione notturna dei corpi, conducono a considerarne l'applicazione alla teorica della rugiada sotto un aspetto alquanto diverso da quello adottato dagli autori di fisica.

Per non divagar troppo nel campo delle allusioni generali, prendiamo un esempio particolare cavato da uno de' migliori trattati moderni.

Nell'ultima edizione del Pouillet si legge il seguente periodo:
» Quanto alla rugiada, basta osservare che la temperatura del-
» l'aria essendo, per esempio, di 15° ad una data epoca della
» notte, vi saranno alcuni corpi a 14°, altri a 13°, ed i più rag-
» guardi a 7°, a 6°, ed anche a 5°, qualora ci siano convenien-
» temente situati. Allora se l'aria è umidissima, altrimenti, se il
» punto di precipitazione del vapor acqueo invisibile diffuso per
» l'atmosfera è vicino a 15°, quasi tutti i corpi si vestiranno di
» rugiada, in proporzione più o meno grande secondo il grado
» di freddo da essi concepito: se l'aria è meno umida, se il
» punto di precipitazione è per ipotesi a 10°, i corpi che hanno

» una temperatura superiore a questo grado della scala termo-
» metrica si conserveranno asciutti, e quelli che hanno una tem-
» peratura inferiore al detto grado saranno più o meno rugia-
» dosi. finalmente, se l'aria è oltremodo secca ed il punto di pre-
» cipitazione inferiore a 5°, tutti i corpi, freddi e caldi, reste-
» ranno asciutti e privi di qualunque vestigio di rugiada. » (Pouillet Elem. de Phys. 3me edit. Paris. novembre 1844. Tom. 2 p. 643.)

Dopo le sperienze e le considerazioni precedenti non mi pare più permesso il dire in senso assoluto, che le piante ed i corpi ordinariamente irrorati dalla rugiada si raffreddano di 8, e 10° sotto la temperatura dell'aria. Le osservazioni di Wells, di Wilson, di Pouillet sono esatte, ed i corpi situati presso la superficie terrestre possono bensì dimostrare la propria temperatura di 8, o 10° sotto quella di un termometro alto 4, o 5 piedi, ma non già scendere di tanto sotto la temperatura dello strato d'aria ove stanno immersi, poichè il freddo delle foglie vegetabili non oltrepassa mai, come abbiamo veduto, i due gradi del termometro centigrado; ed è pertanto quattro o cinque volte minore di quanto si ammette nelle opere di fisica e di meteorologia.

Questa gran riduzione nelle differenze di temperatura tra l'aria ed i corpi rugiadosi non conduce punto alla conseguenza che il principio della condensazione del vapore atmosferico in virtù della irradiazione notturna sia erroneo. E per farsene capaci basta la seguente osservazione di Saussure, che ebbi occasione di verificare più e più volte nella lunga serie delle mie indagini. Quando la rugiada comincia ad apparire sui corpi, l'igrometro a capello introdotto nello strato d'aria ove sono immerse le piante rugiadose, ed accuratamente sottratto con astuccio metallico all'aspetto del ciel sereno, segna da 90 a 98°. lo spazio circonfuso trovasi dunque vicinissimo allo stato di saturazione: laonde non è punto necessario che, a cagione della poca umidità dell'aria, le piante ed i corpi qualunque esposti all'aperto si raffreddino notabilmente onde bagnarsi di rugiada, ma quel freddo di uno o due gradi concepito dalle piante sotto l'azione del ciel sereno, quantunque debole in confronto degli 8 e 10 ammessi finora, è sufficiente a conden-

sare sulle foglie una porzione del vapore elastico ed invisibile diffuso nello spazio circostante.

Aggiungasi che l'ipotesi di un raffreddamento d'uno o dieci gradi secondo la posizione dei corpi conduce dritto alla conseguenza, ammessa dallo stesso Pouillet, che in molti casi di poca umidità atmosferica alcune piante debbono vestirsi di rugiada, ed altre rimanere asciutte: e chiunque ha avuta occasione di percorrere varie volte le campagne quando il sole sta sotto l'orizzonte avrà notato che la rugiada, o manca totalmente, o trovasi più o meno diffusa su tutte le piante basse, qualunque sia la disposizione delle loro foglie rispetto al cielo. Ora il fenomeno della mancanza assoluta, o della diffusione generale della meteora su una serie di corpi sì variamente disposti, indica manifestamente che la prima supposizione del Pouillet, di una somma umidità dell'aria, è la sola che si verifichi in natura quando v' ha formazione di rugiada. E la cagione di questo fatto sì apertamente dichiarato dalla presenza delle stille rugiadose in qualunque pianta bassa e posta fuor d'ogni dubbio dalle osservazioni igrometriche, deriva, se mal non m'appongo, da un altro fatto che quantunque dimostrato esso pure da molto tempo per opera di Wilson, e richiamato alla luce dalle sperienze di Parry, Scoresby, e Pouillet, non fu tuttavia preso in molta considerazione, e restò come isolato nella scienza malgrado la somma sua importanza ne' fenomeni del raffreddamento notturno.

L'osservazione ha dimostrato che l'effetto dell'irraggiamento de' corpi verso il cielo è sensibilmente costante sotto qualunque temperatura; per cui, nelle notti ugualmente limpide e serene, la medesima sostanza si raffredda dello stesso numero di gradi ad una alta e ad una bassa temperatura. La neve, a ragion d'esempio, si raffredderebbe, giusta gli esperimenti di Parry e Scoresby, di circa 9°, tanto se l'aria è a — 1°, o — 2°, quanto a — 21, o — 22°, ed il bulbo d'un termometro introdotto nel primo strato superficiale del manto di neve che ricopre il suolo delle regioni settentrionali durante la massima parte dell'anno indicherebbe — 10, o — 11° nel primo caso, e — 30, a — 31° nel secondo. Io non ho potuto riprere osser-

visioni analoghe a quelle dei due celebri navigatori, ma ebbi occasione di convincermi della verità del principio generale sperimentando, come il prof. Pouillet, con termometri involti entro sostanze raggianti. Cionullameno, siccome le medie da me ottenute non risultano da un intervallo di temperatura tanto esteso come quello abbracciato dalle sperienze del fisico francese, così sarà meglio riferire queste ultime, dalle quali partiremo per mostrare come succede che lo strato d' aria dove stanno immerse le piante debbe necessariamente recarsi presso il punto di massima umidità prima che cominci ad apparire la rugiada sui corpi.

Nell' istituire le sue sperienze, l'illustre professore dell' Università di Parigi non aveva in mira l' oggetto delle presenti nostre considerazioni. Leverò dunque dalla tabella inserita a carta 610 del secondo volume del suo trattato di fisica (4ª ediz.) tutto quanto mira tende direttamente al nostro scopo; ed avremo così i due quadri ridotti posti qui appresso, l'uno accanto all' altro.

Le sperienze si riferiscono al freddo prodotto dall' irraggiamento della piuma di cigno convenientemente isolata mediante un apparecchio che l'autore chiama *actinometro*.

Esperienze di raffreddamento notturno sotto diverse temperature dell'aria

GIORNI delle OSSERVAZIONI		ORE	TEMPERATURA dell'aria	TEMPERATURA dell'actinometro	DIFFERENZE	GIORNI delle OSSERVAZIONI		ORE	TEMPERATURA dell'aria	TEMPERATURA dell'actinometro	DIFFERENZE
11	Aprile	9h 37' antim.	5°,0	−3°,0	8°,0	5	Maggio	5 pom.	23°,5	19°,9	3,6
»	»	6 »	5,5	−2,3	7,8	»	»	6 »	24,1	17,3	7,6
14	»	7 pom.	5,5	−0,9	7,7	»	»	7 »	23,1	15,0	8,1
»	»	8 »	7,0	−0,3	7,3	»	»	8 »	22,9	13,9	9,0
»	»	9 »	5,8	−1,6	7,4	»	»	9 »	21,5	12,5	9,0
»	»	10 »	5,0	−2,4	7,4	»	»	10 »	17,5	10,0	7,3
15	»	4 30' ant.	1,0	−6,0	7,0	8	»	4 ant.	12,1	5,0	7,1
»	»	5 »	1,0	−6,0	7,0	»	»	4 30' »	12,1	5,0	7,1
»	»	6 »	1,6	−5,2	6,8	»	»	5 »	12,0	6,0	6,0
20	»	8 pom.	5,8	−0,8	6,4	23	Giugno	7 pom.	20,0	12,0	8,0
»	»	9 »	4,5	−2,1	6,5	»	»	8 »	17,8	10,5	7,3
»	»	10 »	3,6	−3,0	6,6	»	»	9 »	17,6	10,7	6,9
21	»	4 30' ant.	0,0	−7,9	7,9	»	»	10 »	13,5	9,2	7,1
»	»	5 »	0,0	−7,0	7,0	24	»	4 ant.	11,3	5,3	6,0
»	»	5 30' »	0,1	−6,5	6,6	»	»	4 30' »	11,5	5,6	5,9
			31,2	32,5	106,7				215,3	158,1	108,2
		medie	3°,61	3°,5	7°,11			medie	[illegible]	10°,54	7°,21

Le osservazioni contenute in questi due quadri dimostrano che la piuma di oignon si raffredda di 7° circa, termine medio, per l'azione notturna del ciel sereno, tanto se la temperatura dell'aria sia prossima allo zero, quanto se dessa è elevata di 20 e più gradi.

È quasi superfluo il soggiungere che questa valutazione, e le determinazioni di Perry e Scoresby sul raffreddamento notturno della neve sono state ottenute col metodo che abbiam trovato inesatto a cagione della varia altezza de' termometri destinati alla misura delle temperature dell'aria e dei corpi raggianti. A condizioni eguali d'altezza, il raffreddamento della neve e della piuma di cigno sarebbero certamente minori. Ma qui poco importa il valor assoluto e basta che sia provata la costanza dell'effetto sotto la variazione della temperatura atmosferica.

Ritengasi pertanto che un corpo esposto di notte all'azione di un cielo ugualmente limpido e sereno, si raffredda sempre della stessa quantità qualunque sia la temperatura dell'aria. Questo solo fatto ben assodato dall'esperienza ci condurrà ad una spiegazione chiara e compiuta di tutti i fenomeni che precedono ed accompagnano la formazione della rugiada.

far

II

Prendiamo, per maggior semplicità, l'esempio di un' ampia prateria coperta d'erbe lunghe, fitte e rigogliose, ove la meteora della rugiada suol apparire nel massimo suo splendore. Sia l'aria quieta, il cielo limpido e sereno. Per renderne più chiaro il raziocinio facciamo astrazione dalle porzioni elevate dell'atmosfera, e dividiamo la sua parte più bassa in due strati: l'uno *inferiore* che oltrepassi di poco l'erba del prato, l'altro *superiore* che partendo da questo limite s'innalzi di 30 o 40 metri. E quantunque l'esperienza ci abbia dimostrato che il freddo notturno risultante dalla irradiazione delle foglie vegetabili sia talora di ben quasi 2°, supponiamolo di 1° solo, ed abbiamo presente che questo freddo è sempre costante e però indipendente dalla temperatura dell'aria.

Se l'atmosfera trovasi a 20°, le parti superiori dell'erba scenderanno pertanto a 19° qualche istante dopo il tramonto del sole. L'aria che circonda e tocca queste porzioni delle piante si raffredderà, penetrerà calando tra le foglie ed i fusti interni, e giungerà sul suolo: intanto essa acquisterà, col contatto

dal terreno e dalle piante o porzioni di piante meno esposte all'aspetto del cielo, una certa dose di calore e salirà necessariamente. L'aria scesa di sopra a sostituire quella salita, dopo di aver patite le stesse modificazioni, scenderà essa pure, mentre l'altra già riscaldata dal contatto del suolo, verrà nuovamente a lambire le porzioni superiori dell'erba, tornerà a raffreddarsi, calerà di nuovo e seguirà poi la direzione primitiva, e via discorrendo. Ora ognuno vede che questa specie di movimento vorticoso dell'aria compresa tra la parte elevata dell'erba ed il suolo, movimento totalmente simile a quello che sogliono formarsi nell'acqua di un vaso esposto al fuoco, propagherà a poco a poco il freddo superiore delle piante alle porzioni meno sottostanti, le quali perderanno quindi una data quantità del proprio calore in virtù della comunicazione calorifica di contatto e di irradiazione, e l'aria circolante nel nostro strato *inferiore* non potendo più concepire toccandole lo stesso calore di prima, andrà gradatamente scemando la propria temperatura, supponiamola dunque arrivata a 19°,5. Ma per la legge dianzi ricordata, le foglie devono essere costantemente 1° *meno calde* dell'aria circonfusa: la temperatura dell'erba sarà quindi passata da 19°, a 18°,5.

Ripetendo il ragionamento in questa nuova condizione di cose, è chiaro che l'aria scenderà a 19°, e l'erba a 18°. Quindi l'aria verrà a 18°,5, e l'erba a 17°,5 e così seguitando. Laonde per l'*azione* dell'erba sull'aria, e la *reazione* dell'aria sull'erba, questa passerà successivamente da 19, a 18,5; 18, 17,5, 17; 16,5; 16°, ecc. e quella da 20, a 19,5, 19, 18,5, 18, 17,5, 17, ecc. in guisa che lo spazio circondante all'erba conservando tutto il proprio vapore arriverà, per questo necessario abbassarsi della temperatura, presso il punto di saturazione.

Allora l'igrometro starà vicino all'*umido massimo*; un debol grado di freddo ne' corpi basterà per la precipitazione del vapore, ed il termometro indicherà nell'aria dello *strato inferiore* una temperatura parecchi gradi più bassa di quella dello *strato superiore*, il quale strato, tranne un piccolo moto di discesa, prodotto dalla condensazione dell'aria sottostante, sarà rimasto nelle condizioni usuali

Prima di passare all' esame delle cagioni per cui il freddo è più o meno intenso, o la quantità di rugiada più o meno grande a varie altezze dell' erba, notiamo che la soluzione del quesito dianzi offertoci dall' esperienza intorno al maggior freddo dei termometri vestiti di lana e di cotone rispetto ai termometri inverniciati o anneriti (1), dipende da una ragione di tali sostanze filamentose del tutto analoga a quella dell' erba.

Imperocchè l' aria freddata pel contatto de' fili, tanto più atti ad abbassare la propria temperatura in virtù della somma loro tenuità, non potendo subito svincolarsi dagli ostacoli che l' arrestano da ogni lato, si ferma qualche tempo tra i fili, che per la legge poc'anzi esposta vengono obbligati ad abbassare viè maggiormente la loro temperatura ed a raffreddare maggiormente l' aria circostante, insino che questa divenuta troppo grave esce lentamente dell' inviluppo ed è sostituita da una corrispondente porzione del fluido circonfuso. Ma resta sempre nell' interno una massa d' aria più fredda dello strato atmosferico dov' è immerso il corpo, la quale massa fluida e la materia solida dell' inviluppo raffreddata più che nol comporta il valor diretto del suo potere emissivo, comunicano necessariamente al termometro interno una temperatura inferiore a quella del termometro coperto di nero di fumo, di vernice o d' altra sostanza le quale irradia bensì con altrettanta energia quanto la lana o il cotone, ma che essendo incapace per l' indole sua compatta di trattenere l' aria, non può mai acquistare lo stesso grado di freddo.

Per la medesima ragione, le foglie ruvide e pelose delle piante si raffreddano più delle lisce, come lo dimostrano le osservazioni termometriche, e come rilevasi anche a vista dalle maggiori copia di stille rugiadose dimoranti fra i peli: avvertendo che nell' istituire tali confronti è necessaria una perfetta parità di circostanze, poichè se una delle foglie fosse meno isolata o più grossa, più o di qua o meno scoperta dell' altra, l' irradiazione potrebbe trovarsi in senso inverso, e la rugiada essere pertanto maggiore sulla foglia o superficie liscia che sulla foglia o superficie pelosa.

(1) Veda la prima parte di questo lavoro.

Ma basti ciò sulla rugiada del prato.

Per indicare la parte dell'erba che si raffredda irradiando liberamente il proprio calore verso il cielo era mestieri l'adoperare come si fece dianzi il vocabolo *superiore*, e non già *cima* o *sommità*, perchè esaminando le cose da vicino apparisce chiaramente che, quantunque le sommità delle piante erbacee si abbassino sul principio, più delle foglie sottostanti, tuttavia dopo un certo intervallo di tempo il massimo freddo succede ad una certa profondità nell'interno del prato.

E veramente, immaginiamo il nostro strato d'aria *inferiore* partito in tre suddivisioni o strati elementari: il primo contenga le cime dell'erba; il secondo quelle porzioni sottostanti dove le foglie si fan più copiose conservandosi più o meno esposte all'aspetto della regione zenitale che sappiamo la più attiva di tutte nei fenomeni del raffreddamento notturno; il terzo strato elementare sia composto dell'aria che comprende il resto del prato, cioè la parte dell'erba totalmente priva della vista del cielo. Le cime dell'erba trovansi certamente nelle condizioni le più favorevoli alla irradiazione, ma le foglie vi sono scarse, isolate, esposte al vento, ed, alla menoma agitazione dell'atmosfera, le poche faldicine d'aria raffreddate per contatto si mescolano colla gran quantità d'aria laterale ed abbassano pertanto di poco la temperatura del corrispondente strato elementare. La porzione sottostante, ove non manca generalmente l'aspetto della parte più attiva del cielo, abbonda in vece di foglie e raffredda un gran numero di faldicine aeree, le quali si rimescolano esse pure coll'aria laterale per l'azione delle correnti che scorrono sotto varie obliquità lungo le foglie e gli steli; queste faldicine sono un poco meno fredde delle prime, ma trovandosi in quantità incomparabilmente maggiore esse rendono il secondo strato elementare più freddo del primo. Quanto alla parte dell'erba priva della vista del cielo, essa non può trasmettere all'aria circostante che il freddo derivante dalla comunicazione degli steli o dalla irradiazione verso le foglie soprastanti: e però il terzo strato sarà in sulle prime meno freddo del secondo e del primo. L'aria de' due strati superiori intanto più densa scenderà lentamente

Digitized by Google

verso il suolo, ma durante la sua discesa essa avrà campo di reagire sulle foglie raggianti, in un modo analogo a quello poc'anzi esposto rispetto alle falde di cotone e di lana, *e la reazione sarà necessariamente più energica ne' siti più ingombri d'ostacoli*, perchè ivi si rallenterà il movimento dell'aria, e durerà maggiormente il contatto. Il secondo strato opererà dunque con maggior efficacia del primo per le numerose foglie che lo attraversano in ogni direzione; e queste raffreddate, tenderanno ad abbassare viemaggiormente la temperatura dell'aria circonfusa. La differenza di freddo tra la seconda e la prima suddivisione si farà quindi sempre maggiore, a seconda che l'aria più fredda oltrepassa calando i limiti del secondo strato, la parte superiore del terzo strato, dove le foglie sono interamente sottratte all'aspetto del cielo, dovrà finire coll'acquistare anch'essa una temperatura inferiore a quella del primo. Le porzioni dell'erba comprese nelle due prime delle tre suddivisioni in cui abbiamo supposto partito lo *strato inferiore* dell'atmosfera, cominceranno dunque col raffreddare l'aria circostante, e questa, scendendo sulle tre porzioni delle piante, le costringerà a raffreddarsi in un ordine totalmente diverso da quello cui esse tenderanno per virtù della sola irradiazione. Laonde l'erba, non altrimenti che l'aria, diventerà ancor essa più fredda ad una certa profondità ove l'irradiazione è in gran parte impedita, che nelle cime liberamente rilascianti il proprio calore verso lo spazio; e però un termometro ad armatura metallica starà più basso nell'interno del prato che alla sommità delle piante, e tanto se il serbatoio sarà in contatto dell'aria pura, quanto se egli toccherà le foglie erbacee.

Tutto ciò è pienamente confermato dall'esperienza.

Il freddo delle piante maggiore verso il fondo che sulle cime, congiunto all'umidità che regna sempre nell'interno del prato, per la vicinanza del suolo, la traspirazione dell'erba, e la difficoltà del rinnovamento dell'aria, fanno sì che la precipitazione del vapore acqueo comincerà sulle foglie inferiori. Ma continuando il movimento delle particelle aeree dall'alto al basso pel contatto delle parti superiori dell'erba, ed il movi-

mento dal basso all'alto pel contatto del suolo, se questo non è troppo umido, l'aria fredda discendente, dopo di essersi riscaldata a contatto del terreno e divenuta così più leggera e più secca, potrà vaporare sollevandosi le goccioline liquide già deposte nelle porzioni inferiori dell'erba, e lasciarle quindi precipitare di nuovo sulle porzioni superiori. Questo trasporto della rugiada ad altezze successivamente maggiori non avrà mai luogo ne' terreni bagnati o umidissimi, e le porzioni inferiori dell'erba conserveranno in tal caso la loro rugiada. Ma sì nell'uno che nell'altro caso la rugiada comincerà a deporsi nella parte inferiore dell'erba, ed apparirà successivamente sulle porzioni superiori, come se la meteora uscisse dal suolo, ed invadesse di mano in mano gli spazi soprastanti. Tale si fu infatti l'opinione de' fisici quando la scienza dell'igrometria e del calorico raggiante erano appena nate, e tale si è tuttora oggidì l'opinione di quelle stesse persone da noi testè qualificate giudici incompetenti, le quali dopo di aver descritta come nuova l'antichissima osservazione ora accennata dell'aumento tanto più tardo quanto più s'allontana dalla superficie terrestre (1), dichiarano solennemente il fatto inconcepibile nella teorica della precipitazione del vapore per virtù della irradiazione notturna (2)

(1) Vedi più oltre la nota della pagina 48

(2) Nei *considerandi* di questa sentenza si trova, tra le altre, l'singolare osservazione che coloro i quali restano all'aperta campagna durante le notti rugiadose, se ne tornano a casa infreddati *a cagione dell'umidità che penetra non al corpo o traverso i vestiti più caldi dell'aria, e non più freddi come dovrebbe stare giusta il principio di Wells.* Concediamo pure che l'effetto nocivo di queste peregrinazioni notturne sul corpo umano derivi dall'umido e non dal freddo come lo vorrebbero, a torto senz'alcun dubbio, i seguaci di Esculapio: ma se le canape, il lino, il cotone, e la lana onde si compongono le nostre vesti si raffreddano di notte, come tant'altri corpi per virtù d'irradiazione quando son soli ed isolati, non ne risulta perciò che compensato in tutto o in parte il raffreddamento pel contatto del corpo umano, essi debbano perdere totalmente la loro proprietà igrometrica. Il vapor acqueo diffuso per l'aria continuerà dunque ad essere attratto chimicamente da questi tessuti, e si accumulerà in quantità sensibilissima al tatto, se l'atmosfera è

Un altro fatto anche più noto, notato sin dai tempi d'Aristotile e diametralmente opposto, secondo le opinioni retrograde di questi Signori, al principio di Wells, si è l'abbondanza della rugiada ne' tempi ove l'atmosfera trovasi in perfetta calma; giacchè l'aria circonfusa alle piante non potrebbe, è detto loro, somministrare che una piccolissima porzione d'acqua. Ma abbiam ora veduto che il mezzo ambiente, il quale forma nel nostro caso lo *strato inferiore* dell'atmosfera, non resta altrimenti quieto, ed assume anzi un moto vorticoso, che persevera tuttavia dopo la prima deposizione del vapor acqueo, per cui l'aria a contatto delle foglie cambia ad ogni istante, e continuando a raffreddarsi, lascia precipitare successivamente nuove porzioni del proprio vapore.

Ora il menomo venticello turbando la regolarità del detto vortice aereo, e portando a contatto de' vegetabili l'aria meno fredda e meno umida dello *strato superiore*, dovrà necessariamente opporsi al progresso del fenomeno e rendere meno copiosa la precipitazione della rugiada.

E non occorre certo avvertire che qui s'intende parlar solo di venti leggerissimi, perchè un vento bastantemente gagliardo, o deve distruggere in tutto o in parte la rugiada bella e formata per forza di evaporazione, o deve impedirne la formazione rinnovando l'aria intorno alle piante, e togliendole così la possibilità di reggere sulle foglie de' vegetabili, ed abbas-

vicine all' umido massimo, come succede infatti durante la formazione della rugiada. Così appunto il capello dell'igrometro di Saussure portato ne' campi tra e se il vapore dell'aria libera e fa salire l'indice dello strumento verso il punto di massima umidità. Soggiungeremo poi non potersi concedere che i tessuti alcuni superficiali de' vestimenti che porta indosso le persone erranti di notte per la campagna, sieno più caldi dell'aria circonfusa, come lo suppone l'autore di questa ipotesi obbiezione, ed essere anzi probabilmente, se non perfettamente dimostrato, che i peluzzi, liberi e tessuti situati all'esterno degli abiti panni scendano alcun poco sotto la temperatura dell'aria, e che per conseguenza il vapor acqueo precipiti alla superficie de' vestiti, e venga successivamente trasmesso alle parti interne, le quali potranno così acquistare una dose più o meno grande di umidità.

sare a poco a poco la propria temperatura sin presso al punto di massima umidità.

Colla stessa facilità si risponde a coloro che nella copiosa accumulazione del vapore deposto sulle pareti interne di una campana di vetro capovolta sul suolo pretesero trovare una prova del vapor caldo sorgente dalla terra, ed una obbiezione contro la formazione della rugiada dedotta dalla irradiazione de' corpi verso il cielo. Imperciocchè, i medesimi fenomeni di circolazione e di condensazione ora descritti a proposito dell'aria e dell'erba del prato, si manifestano entro la campana raffreddata per virtù della irradiazione esterna, anzi vi acquistano una maggiore regolarità a cagione del perfetto riparo che presentano le pareti contro i movimenti accidentali dell'aria, che per quanto leggieri si sono opposti sempre, come abbiam veduto, alla precipitazione della rugiada.

Egli è poi manifesto, che tanto in questo caso come nel precedente, le stille generate nella parte superiore del corpo raggiante si faranno più grosse e più copiose quando la terra sarà fortemente bagnata o coperta d'acqua, come succede dopo le pioggie o le irrigazioni artificiali, perchè allora l'aria ascendente diverrà satura di vapori nel venire a contatto della superficie terrestre, e tornata in alto per la ricuperata sua leggerezza, deporrà, ad ogni rotazione, una porzione dell'umore elastico e trasparente in essa contenuto, maggiore di assai che ne' casi ove il suolo è asciutto o appena umettato; per lo che la medesima porzione d'aria servirà come di veicolo al liquido che riposa sul terreno, trasportandolo così successivamente sul corpo freddato per irradiazione. E siccome, rispetto alla campana di vetro, questo movimento di trasporto si farà più regolarmente, come dicemmo, dentro che fuori, a cagione della difesa contro l'agitazione dell'aria, così la rugiada sarà ordinariamente più copiosa sulla superficie interna. Laonde potrà darsi il caso in cui il vetro trovandosi più o meno irrorato dentro la campana, sia totalmente asciutto di fuori, senza che ne risulti però nessun argomento favorevole alla pretesa esalazione vaporosa del suolo, e contraria al principio della

formazione della rugiada dedotto dall' irraggiamento calorifico de' corpi verso lo spazio.

Vi fu chi, a comprovare l' ipotesi del sollevamento della rugiada, dispose sull' erbe di un prato una tavola di noce involta in un sacco di tela incerata, e vide, ad una cert'ora della notte, la tela bagnata di sotto, mentre stava ancora asciutta superiormente. Questo fatto, estato anco esso tra le più tremende obbiezioni al principio di Wells, è anzi una conseguenza naturalissima di così fatto principio. Il sacco e la tavola freddati per irradiazione e pel contatto dell' erbe circostante, trovano in presenza di due masse d' aria; l'una immobile ed umida perchè vicina al suolo e riparata, l' altra più lontana dal terreno ed in preda all' agitazione dell' atmosfera, quindi meno umida, ed in condizioni meno favorevoli alla precipitazione del vapore; donde la conseguenza di un apparizione di rugiada più pronta sulla faccia inferiore del sacco.

Si volle finalmente addurre, come contraria alla genesi della rugiada in forza dell' irradiazione de'corpi, l'umidità che si manifesta talora di notte alla superficie di un terreno asciutto e ben disseccato durante la giornata, senza por mente alle due cagioni che concorrono, congiuntamente o separatamente, alla produzione del fenomeno. È noto infatti che quando il suolo viene prosciugato dal calore o dal vento o clima il terreno trovasi ancora bagnato ad una certa profondità per le pioggie antecedenti o la esistenza di acque sotterranee, il liquido tirato in su dall' azione capillare torna di bel nuovo ad inumidire la superficie della terra quando sono rimosse le cagioni del disseccamento. Noi sappiamo inoltre che la terra è pur essa dotata di forza raggiante e però suscettiva di raffreddarsi a produrre la condensazione del vapore, segnatamente nelle lunghe ed umide notti d' autunno, durante le quali il freddo generato per l' irradiazione del suolo penetra più profondamente, e non può più essere compensato dal calore degli strati interni (1)

(1) Questa sola riflessione basterebbe per mostrare la leggerezza

Il terreno asciutto verso sera che trovasi bagnato la mattina susseguente d'una notte limpida e quieta, non presenta dunque nessuna obbiezione alla teorica della rugiada fondata sul principio dell'irraggiamento dei corpi.

Da tutto quanto precede, si rileva essere affatto erronea la strana accusa mossa contro i seguaci di Wells, di non avere tenuto considerazione al vapore che deriva dalla superficie terrestre. Concordi in questo punto coll'opinione del volgo, essi attribuiscono anzi tutta l'umidità dell'aria alle acque sparse sul globo. Ed infatti, prescindendo anche dall'origine terrestre del vapor vescicolare onde son formate le nubi, il vapore allo stato elastico ed invisibile si spande nell'atmosfera, non solamente durante i tempi di pioggia, ma sorgendo incessantemente dal mare, dai laghi, dai fiumi, e dai terreni paludosi. I venti lo trasportano poscia e lo diffondono per ogni

di certuni che avendo trovato *nelle prime ore della notte* la superficie del terreno nudo un poco più calda dell'aria, ne argomentarono *essere falso e smentito dall'esperienza*, secondo le loro gentili espressioni, che la detta superficie si raffreddi raggiando il proprio calore verso il cielo, come erasi precedentemente conchiuso da alcuni periti ed onesti sperimentatori.

La terra non è nelle condizioni di tenuità e d'isolamento delle foglie vegetabili, e richiede quindi un tempo più lungo per manifestare il raffreddamento superficiale dovuto alla sua irradiazione. Giova pertanto operare *sulla fine*, e non *sul principio della notte*. E giova parimenti un terreno asciutto per ridurne la conducibilità al minimo valor possibile. Conviene poi servirsi di termometri ad armatura tutta metallica sostenuti nell'aria con fili o tubi di metallo, o interamente coperti di terra, affinchè le loro indicazioni siano quelle sole provenienti dal contatto dell'aria e del suolo.

Ma la riuscita dell'esperienza esige soprattutto la lontananza dai proli, ed una gran calma nell'atmosfera onde l'aria freddata dall'erba non venga colla sua presenza a sconvolgere gli effetti provenienti dalla irradiazione del terreno.

Operando con queste cautele si troverà sempre *sempre*, e che *ad una cert'ora della notte placida e serena, gli strati superficiali del terreno nudo e scoperto cominciano ad abbassare la propria temperatura sotto quella dell'aria soprastante.*

nelle regioni più povere d'acqua. Se l'aria e la terra sono pregne di umidità, come succede dopo le forti pioggie, allora rasserenandosi il cielo, la rugiada precipita dovunque. Ma quando la stagione è oltremodo secca e l'aria quieta, predomina l'azione locale, soprattutto in tempo di notte ove l'equilibrio dell'aria non è punto turbato dalla presenza del sole, ed allora l'umidità dell'atmosfera sta in ragione della prossimità alle sorgenti. Ora per costringer l'aria a deporre il proprio vapore occorre un abbassamento di temperatura più o men grande, secondo la minore o maggiore umidità: dominante la precipitazione del vapore atmosferico sarà dunque più tarda e men copiosa di mano in mano che si va scostando dalle acque, o cesserà del tutto ad una certa distanza, se l'aria è sufficientemente asciutta, qualunque sia il grado di freddo concepito dai corpi in presenza di un cielo limpido e sereno. E di fatto, ne' tempi di gran siccità, la rugiada non apparisce più che sulle piante situate ne' luoghi palustri, o irrigati, lungo le rive degli stagni, de' laghi, e de' fiumi.

L'azione frigorifica notturna dei vegetabili sull'aria, e la reazione di questo fluido sui vegetabili non potranno cessare se non quando il calore comunicato dalla terra alle piante ed allo strato inferiore dell'atmosfera sarà uguale a quello perduto per irradiazione e pel contatto dell'aria: e questo stato d'equilibrio in un sistema di corpi così eterogeneo, sembra esigere un tempo lunghissimo, imperocchè, se il cielo è nitido e l'atmosfera tranquilla durante la notte intera, la temperatura decresce continuamente alla superficie terrestre sino al levar del sole in qualunque stagione dell'anno. Nei tempi quieti e sereni i bassi strati dell'atmosfera si troveranno dunque tanto più umidi quanto più la notte sarà innoltrata: ecco perchè la rugiada è ordinariamente più copiosa, e più intensate ne' corpi, negli arbusti e nelle siepi, verso l'alba che sulle prime ore di notte, più copiosa di primavera e di autunno che d'estate, dove attesa la breve assenza del sole, l'irradiazione delle piante non arriva ad abbassare talmente la temperatura dello strato inferiore, da produrvi una grande umidità.

Aggiungasi che siccome il freddo notturno delle basse regioni dell'atmosfera deriva in gran parte dalle foglie delle piante le quali presentano una immensa quantità di corpicciuoli dotati d'ampia superficie e quasi del tutto isolati, così s'intende la ragione per cui la rugiada sia tanto scarsa d'inverno, e s'intende pure perchè le rugiade autunnali siano più abbondanti di quelle deposte nelle notti ugualmente lunghe di primavera.

Notiamo inoltre che la temperatura essendo più elevata di autunno che di primavera, ed il vapore elastico diffuso nell'aria crescendo in una ragione più rapida della temperatura, quello stesso grado di freddo generato dalla irradiazione di una data pianta dovrà produrre una maggiore precipitazione di rugiada nel primo che nel secondo caso: avvertendo che qui s'intende parlare delle giornate ove regna nell'atmosfera lo stesso grado di umidità.

Egli è poi evidente che l'altezza dello strato d'aria raffreddato pel contatto de' vegetabili o del suolo, varierà essa pure colla ricchezza della vegetazione, colla qualità e quantità delle piante: che sarà maggiore ne' prati ove l'erba è lunga, minore in quelli ove l'erba è bassa, minima sul terreno nudo. E così dicasi della posizione di minima temperatura, la quale se dovrà trovarsi nella massima prossimità del suolo sulle terre scoperte, non potrà sussistere, come abbiam veduto, intorno alla sommità dell'erba ove son rare le foglie, nè intorno alla base ove predomina il calore del terreno coperto, e sarà a quella tale altezza dove le foglie stanno in maggiore copia senza essere del tutto sottratte all'aspetto del cielo.

Siffatte conseguenze dirette della teorica furono confermate da quegli stessi sperimentatori che negano l'origine della rugiada dedotta dall'irraggiamento notturno de' corpi verso il ciel sereno, e credono spiegare la meteora colla corrente di vapor ascendente. Costoro videro il massimo freddo dell'aria a sette pollici in un prato ben guernito d'erba alta e rigogliosa, a due soli pollici in un prato recentemente segato, e rasente il suolo sul terreno nudo. Quantunque disadatti a questa specie

di confronti, i loro termometri posti in contatto colle foglie vegetabili forcorrono delle indicazioni talora uguali, talora inferiori, e quasi mai *superiori*, a quelle dei termometri liberamente sospesi nell' aria circostante. Tuttavia essi continuarono a sostenere il freddo osservato non doversi attribuire all' irradiazione delle piante e del suolo; dissero il calore del terreno trasmettersi più in su nell'erba lunga, restare più basso nell' erba corta, e conchiusero che dopo il tramonto del sole appariva alla superficie terrestre uno strato d' aria fredda, il quale abbassava la temperatura delle piante, cadendo così nel più grave degli errori che possono commettersi in filosofia, di scambiar, cioè, l'effetto colla causa!

Il freddo generato dalla irradiazione delle foglie vegetabili o de' corpi qualunque esposti all' azione notturna del ciel sereno precede sempre, come si disse, la precipitazione della rugiada. La condensazione del vapore comunica alle foglie il calore proprio del passaggio dallo stato aeriforme allo stato liquido; ma questo calore sparisce in seguito pel gran poter emissivo dell' acqua; sicchè le foglie irrorate, conservando esse uno un grado di calore inferiore a quello dell' aria circostante, continuano a caricarsi di rugiada.

Tutto ciò è facile a verificarsi ne' campi, coll'ajuto dell'osservazione, e de' nostri termometri a turacciolo e ad armatura metallica. Avvertiamo però che in molti casi le foglie possono trovarsi di notte e sotto un ciel sereno alla medesima temperatura, ed anche per alcuni istanti più calde dell'aria; se durante la calma ed i fenomeni di freddo e di rugiada che ne risultano, si desta un soffio di vento improvviso che rapisca l' aria circonfusa al corpo radiante, e vi sostituisca quella d'altri corpi in condizione più propizia al raffreddamento: così le foglie erbacee situate in vicinanza di un albero colte istantaneamente dall' aria levata al prato vicino diverrebbero in sulle prime più calde del fluido sopraggiunto, ed acquisterebbero poi la stessa temperatura se continuasse il vento o se il cielo venisse a coprirsi di nuvole. Ma queste anomalie, oltre alla loro rarità, si distinguono di leggieri dalle circostanze normali per cagione del vento che deve necessariamente precederle ed accompagnarle.

Abbiam veduto un termometro vestito della sua armatura metallica tersa e lucida, ed un termometro ad armatura parimente metallica ma coperta di nero di fumo, di vernice, di segatura di legno o di foglie vegetabili, segnare amendue la medesima temperatura all'aria libera essendo sottratti, entro alcuni vasi chiusi di metallo, all'aspetto del ciel sereno. Abbiamo parimente veduto che, tolti i coperchi, il primo termometro conserva sensibilmente la propria temperatura, mentre il secondo s'abbassa di tre o quattro gradi. Da questi due fatti risulta chiaramente il perchè non avvi che poca o niuna precipitazione di rugiada sotto gli alberi, nell'interno delle siepi, de' sepi, e in tutti que' luoghi ove lo scambio calorifico tra il cielo e la terra è più o meno intercettato: ivi la rugiada è men copiosa o manca del tutto, perchè il freddo risultante della irradiazione notturna dei vegetabili e minore che ne' luoghi aperti, ovvero totalmente nullo, come si verifica facilmente per mezzo del termometro.

Dopo le sperienze descritte nel principio di questa memoria sarebbe poi affatto inutile il soggiugnere che l'azione delle nuvole sulla rugiada è perfettamente analoga a quella degli alberi ed altri ostacoli che impediscono più o meno l'aspetto della volta celeste: le nuvole alte diminuiscono, le basse distruggono del tutto il raffreddamento notturno delle piante; e con esso lui, la diminuzione accessiva di temperatura nello strato d'aria inferiore, l'aumento di umidità, e la precipitazione della rugiada.

Chi avrà seguito colla dovuta attenzione le cose dianzi esposte, non avrà certo bisogno di suggerimenti onde assegnare i motivi per cui la rugiada è minore sugli arbusti che sull'erba del prato, minore sulle piante d'alto fusto che su quelle di mezzana elevazione, ed immediatamente vedrà che le foglie degli alberi, quantunque dotate come l'erba di un energico parer calorifico, non possono raffreddarsi di tanto, nè caricarsi della stessa quantità di rugiada.

1.° Perchè esse son rare, isolate, ed esposte al vento.

2.° Perchè lo strato dell'atmosfera ove stanno immerse è meno umido di quello che tocca il suolo.

3.° Perchè l'aria condensata, scendo nell'interno dell'albero, lo traversa, e cade, e non torna a lambire come nel caso dell'erba, le fronde superiori, ne può quindi svagire su di loro, nè abbassare necessariamente la propria temperatura ed acquistare pertanto quel grado di umidità necessario ad una copiosa precipitazione di rugiada.

Le correnti d'aria discendenti dagli alberi denno necessariamente turbare la serie di azioni e reazioni calorifiche che han luogo tra le piante erbacee e l'aria circonfusa, ed impedire che ambedue assumano quel grado di freddo cui perverrebbero essendo sottratte alla loro influenza. L'erba situata in prossimità degli alberi sarà dunque meno fredda e meno rugiadosa di quella che sta in mezzo al prato, non solamente per trovarsi in vista di una minor porzione di cielo, ma anche perchè il mezzo che la circonda è meno quieto. E tali cagioni riunite produrranno nell'aria quella enorme differenza di temperatura che manifestasi, nelle notti placide e serene, passando per siti boscosi alla praterie scoperte.

Rendiamo in tanto grazie alla Provvidenza che volle l'atmosfera sottoposta a tante forze perturbatrici del proprio equilibrio, e però sempre più o meno agitata: perchè se potesse regnarvi una calma assoluta, le piante erbacee situate ne luoghi aperti scenderebbero in certe notti a tal grado di freddo da soccombervi e perire.

Queste medesime forze perturbatrici dell'equilibrio atmosferico fanno sì che l'aria freddata pel contatto delle erbe o del suolo scoperto si andrà a poco a poco mescolando all'aria vicina; il freddo s'insinuerà altresì negli strati soprastanti per via di conducibilità, finalmente le correnti d'aria discendenti dagli alberi o dai luoghi elevati aumenteranno ad ogni istante la quantità d'aria condensata sul suolo. E tutte queste cagioni tenderanno ad introdurre gradualmente il freddo generato alla superficie terrestre, ed il grado di umidità favorevole ad una forte precipitazione di rugiada, negli strati da più in più elevati dell'aria. Così resta spiegato il fatto scoperto da Pictet intorno alla diminuzione che si osserva di notte nella temperatura dell'atmosfera di mano in mano

che s'accosta al suolo; e l'esperienza tante volte ripetuta di du Fay sull'irroramento notturno può provar ne' corpi vicini alla superficie terrestre, che in quelli stessi ad una certa altezza (1).

Siffatte considerazioni rendono quasi superfluo l'avvertire che i limiti da noi supposti tra gli strati d'aria *inferiore* e *superiore* non sussistono in natura, e che si passa dall'uno all'altra stratificazione atmosferica per gradazioni insensibili di umidità, di densità, e di temperatura. Ognuno intenderà tuttavia che se l'aria avesse un calore intenso e sensibile al bassi, non la vedremmo riscaldarsi di mattutempo presso la superficie terrestre, e formare una specie di zona, la quale seconderebbe più o meno esattamente l'andamento e la distribuzione generale delle piante, avvivandosi soprattutto nei prati, e dilatandosi per ogni dove sino agli ultimi confini dell'orizzonte.

Dalle cose precedentemente esposte apparisce chiaramente che il principio di Wells sulla precipitazione della rugiada la forza della irradiazione notturna dei corpi si può difendere vittoriosamente da qualunque obbiezione, che però l'abbassamento delle materie raggianti sotto la temperatura dell'aria è assai minore di quanto si credeva per una malintesa interpretazione delle sperienze del fisico inglese. Ne Wells, ne i suoi seguaci a contraddittori, ebbero poi la dovuta con-

(1) Gersten e Musschenbroek avevano osservato il fatto prima del du Fay: ma l'accademico parigino lo pose fuor d'ogni dubbio, mediante una serie di lamine di vetro raccomandate ai gradini di due alte scale di legno erette obbliquamente nel mezzo di una prateria, per modo da formare un angolo toccandosi nelle loro sommità superiori. Le lamine vennero fissate a 6, 13, 17, 25, e 31 piedi lontano dalla superficie terrestre: una di esse stava fermata in somma prossimità del suolo. Era la notte del 26 ottobre 1736. A cinque ore pomeridiane l'ultima di queste lamine trovossi compiutamente bagnata nella sua superficie inferiore, ed appena inumidita nella faccia superiore: verso le sei ore la lamina situata sei piedi lontano dal suolo cominciava a coprirsi di rugiada: ed alle ore sette, tutti i vetri furono irrorati (*Mem. de l'Acad. des sciences Paris 1736*).

siderazione al fatto ben noto della differenza sensibilmente costante tra la temperatura dell' atmosfera e quella del corpo radiante, e trascureremo completamente le azioni e reazioni tra esso corpo e l' aria circonfusa. Valendoci dei veri elementi della questione, noi abbiam dimostrato, che partendo da quel picciol grado di freddo che sotto qualunque temperatura le piante assumono durante le notti placide in presenza del ciel sereno, si spiega perfettamente: 1° l'abbassamento graduale di temperatura che si manifesta di notte tempo alla superficie terrestre; 2°, il freddo maggiore nell' interno che alla superficie de' prati; 3°, la differenza di temperatura tra l'aria che circonda le piante basse de' prati e de' campi, e l' aria soprastante; 4°, la grande umidità che regna nello strato d'aria circonfuso alle piante sin dal primo momento in cui comincia la precipitazione della rugiada; 5°, l' azione favorevole di una perfetta calma nell' atmosfera; 6°, l' aumento delle stille rugiadose per tutto il corso della notte; 7°, l'abbondanza di queste stille sulle piante a foglie pelose; 8°, la poca quantità di rugiada deposta sugli alberi, rispetto a quella che precipita sull' erba; 9°, l' invasione progressiva della rugiada dal basso all' alto; 10°, le varie proporzioni di questa meteora nelle diverse stagioni dell' anno, e tutte, in somma, le più minute circostanze che precedono ed accompagnano la comparsa della rugiada alla superficie terrestre. Il principio dell' abbassamento costante della temperatura de' vegetabili sotto la temperatura dell' aria circonfusa, costituisce dunque la vera base della teorica della rugiada fondata sulla irradiazione notturna.

Ricapitolando in poche parole quanto abbiam detto intorno ai fenomeni che succedono realmente durante la formazione della rugiada, si vede, che questa meteora *non deriva già immediatamente dal freddo generato nei corpi per virtù d'irradiazione*, come sta scritto nella massima parte dei trattati di fisica, ma sì bene *da una serie di azioni e reazioni tra questo freddo prodotto direttamente nei vegetabili e quello che essi inducono nel mezzo ambiente*. L' erba si raffredda poco sotto la temperatura dell' aria, ma essa le comunica presto

il suo proprio raffreddamento: e siccome la differenza di temperatura tra il corpo radiante ed il fluido circonfuso è indipendente dal valor assoluto della temperatura regnante, così l'erba trovandosi avere intorno un aria più fredda, abbassa vieppiaggiormente la propria temperatura: essa comunica pertanto un nuovo grado di freddo all'aria, e questo induce un maggior abbassamento di temperatura nell'erba, la quale raffredda sempre più il fluido circostante. Lo strato d'aria ove sta l'erba non resta però quieto durante questo progressivo suo raffreddamento, ma assume un moto vorticoso prodotto dal successivo salire e scendere delle varie sue porzioni, fredde pel contatto delle foglie superiori, e scaldate pel contatto del suolo, ed intanto lo strato aereo conserva tutto il suo vapore o ne guadagna anzi spesso una nuova porzione a cagione dell'umido che regna ordinariamente sul terreno e nella parte più bassa dell'erba, e si trova alfin condotto verso il punto di saturazione. Allora quel poco freddo che posseggono le foglie erbacee basta per precipitare il vapor acqueo. Ma persistendo sempre nell'erba lo stesso grado di freddo relativamente all'aria circostante, questa continua a raffreddarsi per contatto, e però si condensa e cade dopo di essersi spogliata di una porzione del proprio vapore: una seconda falda d'aria subentra alla prima e patisce le medesime vicissitudini, a questa ne succede una terza, e via discorrendo; per modo che la quantità di rugiada deposta sulle foglie aumenta indefinitamente.

A circostanze pari di umidità atmosferica, la quantità di rugiada deve dunque dipendere dalla lunghezza della notte; ed essere pertanto più abbondante d'autunno che d'estate. Siccome poi la massima parte del freddo notturno generato nelle basse regioni dell'atmosfera è dovuto alla vegetazione delle piante, che offre un immenso sviluppo di cotali strati raggianti quasi perfettamente isolati, così la rugiada scarseggia d'inverno, ed è più copiosa nelle notti d'autunno che in quelle egualmente lunghe dei primi giorni di primavera. La rugiada abbonda altresì maggiormente d'autunno, perchè allora le giornate sono più calde che di prima

vera, e per una data dose di umidità, uno stesso grado di freddo, come è appunto quello generato dalla irradiazione delle piante, precipita una quantità di vapore tanto maggiore quant' è più elevata la temperatura regnante.

Il minimo soffio di vento, portando a contatto delle piante un' aria meno fredda e meno umida di quella che circola nello spazio compreso tra le loro sommità e la superficie terrestre, diminuisce necessariamente l' accumulazione della rugiada. Un vento sufficientemente gagliardo ne impedisce del tutto la formazione, rinnovando l' aria ad ogni istante e togliendole pertanto la possibilità di abbassare gradualmente la propria temperatura, e d' acquistare l' umidità necessaria alla condensazione del vapore in essa contenuto, per virtù di quel debol grado di freddo che assumono le piante rispetto al mezzo ambiente.

Le differenze d' irroramento risultano tutte, o dal diverso potere emissivo delle piante e de' corpi qualunque esposti all'aria libera; o dagli ostacoli più o men grandi che ritardano la discesa dell' aria freddata al contatto della superficie raggiante; o dalla varia esposizione di questa superficie, donde deriva un grado di freddo tanto maggiore quant' è più completo per essa l' aspetto del cielo; o dallo stato idrostatico ed igrometrico dell' aria, che costringe il vapore a precipitare tanto più presto quant' è più tranquilla l' atmosfera e più prossimo il punto di massima umidità; o finalmente dalla vicinanza delle piante al suolo, che permette il ritorno dell' aria sulle foglie raffreddate per irradiazione, e stabilisce quella circolazione aerea donde deriva il raffreddamento graduale, e l' accrescimento successivo della umidità presso la superficie terrestre.

Tutte queste proposizioni sono *conseguenze necessarie* del piccol grado di freddo che sotto qualunque temperatura le piante assumono irrefragabilmente, nelle notti placide e serene, rispetto all' aria circonfusa: *la teorica della rugiada da noi adottata non contiene dunque veruna ipotesi*.

Per non interrompere il filo del ragionamento, nè deviar troppo dallo scopo principale, che era quello di una compiuta spiegazione di tutti i fatti relativi alla formazione della meteora de

•

mi presi ad esame, ho taciuto nel discorso precedente alcune considerazioni intorno al freddo notturno più o men vivo, ed alla rugiada più o meno copiosa che si manifestano nelle varie parti della superficie terrestre. Mi sia permesso di esporle ora brevemente.

Si son fatte molte osservazioni per conoscere la temperatura diurna in diversi luoghi della terra, ma pochissime per determinare il calor notturno: laonde non sappiamo qual sia la vera differenza di temperatura tra il giorno e la notte nelle varie stagioni dell'anno, e nei diversi punti del globo. Giusta le idee dinanzi esposte, ognun vede però che ne' tempi quieti e sereni, questa differenza deve essere tanto più grande, quant'è maggiore la scarsezza della vegetazione e la lunghezza delle notti. Ed abbiam già osservato che durante le notti de' primi giorni di primavera, la terra scarseggia di foglie vegetabili e la temperatura scende assai meno che negli ultimi giorni d'autunno, ove le piante conservano una parte della vegetazione estiva. Soggiungeremo presentemente, che ne' paesi la cui vegetazione abbonda di foglie strette e verticali, come le coste della Nuova Olanda, la temperatura notturna deve essere meno fredda, rispetto alla temperatura diurna, che nelle terre d'egual latitudine ove le piante sono dotate di foglie ampie ed orizzontali, come quelle dei nostri climi.

Considerando poi il fenomeno nella sua distribuzione generale relativamente alla superficie terrestre, è facile di convincersi che la massima differenza tra la temperatura di giorno e quella di notte dovrà aver luogo nelle regioni equinoziali, e che ivi pure le rugiade dovranno essere più copiose che in qualunque altra parte del globo.

Infatti nelle zone fredde e temperate, i due principali elementi del freddo notturno camminano, per così dire, in ragione inversa: poichè ne' tempi ove la campagna trovasi adorna di verdura, le notti sono brevi, e per converso. Ma sotto la linea, la vegetazione è sempre vivace, le notti lunghe e dotate di brevissimi crepuscoli: e nelle terre vicine, costituenti la zona torrida propriamente detta, quando il periodo notturno viene d'alcun poco il periodo diurno, la pioggia abbonda e le

piante si provveggono più copiosamente di foglie. *La massima differenza di temperatura tra giorno e notte avrà dunque luogo ne' paesi equatoriali, poco tempo dopo la stagione delle piogge.*

Siccome poi l'umidità aumenta in ragione del raffreddamento notturno, così anche le rugiade saranno, generalmente parlando, doviziosissime in questi paesi. In oltre, qui torna in campo l'argomento addotto in proposito della maggior abbondanza manifestata dalle rugiade d'autunno rispetto a quelle di primavera. La zona torrida possede la temperatura più elevata del globo; il raffreddamento notturno delle piante vi dovrà dunque produrre, in virtù della legge di variazione più rapida nel vapore che nella temperatura, una precipitazione di rugiada più abbondante che in qualsiasi altro luogo della terra.

Un fatto non troppo noto, che sembra in sulle prime contraddire queste viste teoriche, ma che esaminato con maggior attenzione viene anzi a confermarle, si è la debole quantità di rugiada che, al dire de' naviganti, precipita su quelle tante isolette coralline della zona torrida, il cui complesso viene dai geografi denotato col nome di Polinesia. E veramente, per quanto grande sia l'umido atmosferico in forza della sterminata massa d'acqua ove trovansi qua e là disperse tali isolette, come le oasi nel deserto, e la tendenza al raffreddamento, in virtù delle loro lunghe notti equatoriali e della rigogliosa vegetazione che ne ricopre il suolo, la piccolezza del territorio rende la colonna aerea soprastante facilissima ad essere investita da ogni lato, e penetrata sino al centro dall'atmosfera del mare circonfuso, che conservando nella bassa latitudine lo stesso grado di calore a qualunque ora del giorno ed in qualunque stagione dell'anno, riscalda presto quella poca quantità d'aria raffreddata pel contatto dei vegetabili. Siffatta invasione dell'aria marina viene anche promossa dai venti alisei, che regnano costantemente ne' mari ove sorgono gli arcipelaghi della Polinesia. Sicchè debolissima essendo su queste piccole estensioni di terra la differenza di temperatura fra il giorno e la notte, la rugiada vi deve necessariamente scarseggiare.

Ragioni del tutto analoghe impediscono la formazione della rugiada sui legno che solcano le vaste solitudini dell'Oceano, ad una gran distanza dai continenti. Ma la rugiada v' apparisce presso le terre continentali onde e ricche di vegetabili. Così i marinari che vanno dallo stretto della Sonda al Coromandel s' accorgono d' esser vicini al termine del loro viaggio, quando le corde ed altri oggetti posti sul ponte della nave si coprono, durante la notte di stille rugiadose (1).

Questo singolar fenomeno, di una umidità maggiore in vicinanza della terra che in mezzo al mare, si spiega perfettamente. E di vero, l' esperienza ha dimostrato che l' aria marina sotto la zona torrida è ordinariamente ancor lontana dal punto di saturazione, e che siffatto suo stato igrometrico si mantiene sensibilmente costante ne' tempi queti e sereni, per virtù dell' eguaglianza tra le temperature diurne e notturne di quelle regioni marittime. Non così l' aria di terra che più secca di giorno dell' aria marina, diventa più umida di notte pel raffreddamento graduale della superficie terrestre, e giugne anzi all' umido massimo in circostanze favorevoli. Ora il vento terrestre, che spira sempre nel golfo del Bengala presso le rive durante le notti limpide e serene, trasportando nel vicin tratto di mare l'aria umidissima che riposava sul suolo, fa sì che l' abbassamento di temperatura generato dalla irradiazione della sarte, delle vele, e d' altri corpi esposti sulla nave all' azione libera del cielo, quantunque impotente a condensare il vapore dell' aria marina, basta tuttavia a precipitar quello dell' aria proveniente dalla terra.

Dalle considerazioni precedenti risulta manifestamente che la rugiada, debole e nulla verso i poli per cagione della bassa temperatura, e della somma brevità delle notti estive, dovrà farsi di più in più copiosa, avvicinandosi all' equatore. Ma la prossimità del mare, la posizione delle montagne, la qualità del terreno più o men paludoso, o ricco di laghi, di fiumi, o d' acque correnti, o più o men soggetto alle piog-

(1) Le Gentil. Voyages Tom. I pag. 625

go, contribuirà potentemente all' abbondanza della rugiada. Le coste dell' Egitto, del Mar Rosso, del Golfo Persico, del Chili, e del Brasile, sono famose per la somma dovizie delle loro rugiade (1), e le pianure oltramontane delle provincie di Bahia, Pernambuco, Urmia e Mazanderan, nel Brasile e nella Persia, per la scarsezza di questa meteora (2); anzi trovansi in Persia alcuni siti ove manca totalmente d' estate ogni benchè minimo vestigio di rugiada (3).

È poi curioso il vedere come le grandi masse d' acqua poste nell' interno de'paesi aridi e caldi, si manifestano per mezzo della rugiada assai prima di poterle vedere. Così l'umido notturno si fa sentire nelle vaste e sterili vallate percorse dall' Eufrate alcune miglia lontano da questo fiume (4), ed il Maggiore Denham racconta che, oltre all' eccessivo calor diurno ed al freddo pungentissimo ch'egli ebbe a soppotare durante la notte nel disastroso suo viaggio a traverso il Sahara, egli soffrì costantemente per l' estrema secchezza dell aria sino ad una certa distanza dalla Tschad, ove cominciarono ad apparire le rugiade ristoratrici; che divennero poi talmente copiose sulle rive di questo lago, da rendere tutti molli e bagnati i vestiti di coloro, i quali passavano la notte fuor delle tende (5).

Quanto all' intenso freddo notturno che l' intrepido viaggiatore or nominato sostenne nell' immensa e deserta pianura dell' Africa centrale, esso deriverebbe, a parer mio, non già da una grande serenità di cielo, che può aumentar poco il freddo risultante dall' irraggiamento calorifico, ma da una gran quiete dominante di notte nell' atmosfera di quelle regioni, che permette al suolo di operare con maggior vigore sul mezzo ambiente, e di ricevere con pari energia la reazione di questo

(1) Vedi i viaggi di Volney Tom I pag 81, di Eckardt p 425, di Niebuhr pag 10, di Ker Porter Tom. II pag 123, di Le Gentil Tom I pag 623, di Ruppel pag 186

(2) Viaggi di Spix e Martius Tom. II pag 624

(3) Olivier Viaggio in Persia Tom. I pag. 123, e 145, Ker Porter Tom II pag 63 e 69

(4) Olivier Tom II pag 225

(5) Denham Narrative ec. pag. 49

mezzo. E veramente, si consideri che nelle terre prive d'acqua e di vegetabili, uniformi, monotone, orizzontali e sterminatamente estese, qual è appunto il prefato deserto, detto perciò dagli Arabi *mare senz'acqua* (el Bahar billa mâ), non avvi durante la notte nessuna cagione perturbatrice dell'equilibrio dell'aria, sicchè questo fluido se ne sta fermo alcuni istanti dopo il tramonto del sole, e, per la piccola sua conduttibilità calorifica, propaga lentamente agli strati superiori dell'atmosfera il freddo ricevuto dalla superficie terrestre, la quale essendo arenosa e secca, comunica dal canto suo assai difficilmente coll'interno del globo. E però, *la superficie radiante ed il mezzo ambiente trovandosi ambedue immobili ed isolati, devono reagire vigorosamente tra loro*, e raffreddarsi con maggior energia che ne' paesi disuguali, intersecati da fiumi, torrenti, monti e burroni, e coperti qua e là di selve, di prati e di colture, o quindi soggetti a mille cause di disequilibrio atmosferico.

Se questa è, come pare, la vera spiegazione del fenomeno, i freddi notturni più intensi del *mare senz'acqua* africano dovranno andar congiunti ad una calma straordinaria nell'atmosfera.

Lascio a chi trovasi in condizioni opportune la cura di verificare questa conseguenza della teorica. Ma non debbo tacere, che la rugiada mancando compiutamente, come abbiam veduto, in quella desolata regione per conseguenza della gran siccità, l'aria non può ricevere, presso la superficie terrestre, quel calore che si svolge nei nostri climi durante la precipitazione notturna del vapor acqueo, e non ha pertanto nessun compenso al freddo comunicatole dalla irradiazione del suolo verso lo spazio.

Un altro fenomeno che dipende, esso pure, dal concorso delle azioni e reazioni frigorifiche tra il corpo raggiante e l'aria atmosferica, si è la congelazione dell'acqua, prodotta artificialmente nel Bengala, durante le notti placide e serene. Non occorre ripeter qui la descrizione precisa del metodo, inserita in tutti i trattati di fisica. Infatti dove si voglia semplicemente ricordare che i vasi aperti e bassissimi contenen-

ti l' acqua da congelarsi stanno disposti all' aria libera sulla paglia, entro certe fosse poco profonde circondate da argini di terra, alti quattro o cinque pollici, che talora la formazione del ghiaccio ha luogo quando il termometro segna 5 o 6°, essendo liberamente sospeso nell' aria a tre o quattro piedi dal suolo, e che l' acqua, il cui poter emissivo è prossimamente uguale a quello del nero di fumo, può raffreddarsi poco più di 1° 5 sotto la temperatura dell' ambiente, riuscirà facilissimo il convincersi pienamente, che il freddo necessario per ridur l' acqua a 0° non deriva già dalla irradiazione immediata, ma sì bene da questa irradiazione e dalla reazione frigorifica dell' aria soprastante, che insieme congiunte, obbligano l' acqua de' vasi ad abbassare successivamente la propria temperatura sino al punto di congelazione, producendo la solita gradazione di freddo nell' atmosfera presso la superficie terrestre.

Lo stesso principio serve a spiegare gli agghiacciamenti che, sotto la medesima condizione d' una temperatura superiore di parecchi gradi allo zero, produconsi naturalmente, d' autunno e di primavera, nelle acque poco profonde de' fossati ed altre cavità sparse per la campagna.

III

Si osserva talora di sera, o più spesso in sull'aurora delle giornate umide e serene, come un velo di nebbia estendersi qua e là sui prati, senza oltrepassare di molto le sommità più sporgenti dell' erba. Il fenomeno è facile a spiegare qualora si consideri che, in circostanze favorevoli, lo spazio circonfuso all' erba del prato può divenire compiutamente saturo con pochissimo abbassamento di temperatura. Allora se il menomo venticello un poco più freddo venne ad investirlo, vi sarà supersaturazione, il vapore elastico ed invisibile si convertirà in vapor vescicolare, e formerà una specie di nebbia, la quale resterà intorno ai limiti assegnatile dall' altezza dell' erba.

Considerando poi che l' origine della nebbia deriva dal maggior calore del vapore o del liquido generatore rispetto all' aria, se ne deduce facilmente l' errore dell' opinione, che attribuisce la rugiada *al vapore ascendente dal terreno caldo, il quale si condenserebbe sulle erbe raffreddate dal contatto dell' aria soprastante*. E di fatto, se l aria fredda precipita il vapore coll' intervento dell' erba, essa dovrebbe precipitarlo

con una energia tanto maggiore per via immediata, e convertirlo in globetti liquidi, visibili ed oltremodo esili, vaganti per l'atmosfera.

Così formansi appunto le nebbie d'autunno. Il vapore sviluppato dalle acque e dai terreni umidi e paludosi, che ritengono tuttavia una porzione notabile del calore estivo, si precipita allo stato globoso o vescicolare, venendo a contatto dell'aria soprastante, umida e fredda. Ma, ordinariamente, la rugiada si forma senza turbare la limpidità dell'aria.

Aggiungasi che, quando la nebbia apparisce, qualunque ne sia l'origine e la formazione, tutte le sostanze che giacciono da essa inviluppate si coprono indistintamente ed egualmente di goccioline d'acqua, sicchè vien tolta ogni differenza risultante dall'indole dei corpi, e dalla loro posizione rispetto al cielo; un pezzo di metallo sospeso nell'aria si bagna precisamente come un pezzo di vetro nelle medesime condizioni d'isolamento, l'erba situata in mezzo al prato, come quella sottostante agli alberi: donde s'argomenta l'enorme differenza tra l'irroramento dei corpi per via di rugiada, e quello che deriva da un'esalazione del terreno umido e caldo, precipitata in conseguenza dell'aria fredda. D'altra parte, se due masse, uguali ed ugualmente fredde, di metallo e di vetro, s'immergono simultaneamente in una corrente di vapor caldo, la prima si bagna più presto della seconda: e noi vediamo che questi medesimi corpi, esposti di notte tempo nell'aperta campagna, si comportano in modo inverso, il vetro irrorandosi poco tempo dopo il tramonto del sole, ed il metallo restando asciutto per tutta la notte.

I partigiani della formazione della rugiada per l'esalazione del vapor terrestre, hanno cercato sottrarsi al rigore di queste conclusioni, dicendo, che la rugiada è nulla ne' metalli, perchè le molecole vaporose donde nasce la meteora essendo oltremodo esili, esercitano una poderosa azione chimica, la quale dà luogo ad uno sviluppo di calore e di elettricità; e che, partanto, le particelle liquide compresse dalla forza di questi agenti, in vece di ammassarsi, come fanno, sull'erba, si volatilizzano. Essi hanno quindi respinta la suddivisione del

vapore in *elastico*, o *vescicolare*, e sostenuto esservi una sola sorta di vapore, le cui molecole diminuiscono gradatamente, di mano in mano che trovansi più attenuate in virtù del calore, per modo che la visibilità dei vapori dipenderebbe unicamente dalla temperatura. Ma come conciliare, con questa ipotesi, l'assoluta e costante invisibilità del vapor acqueo ne' vasi chiusi di vetro a qualunque grado di calore, e la sua proprietà di essere, ora visibile, ed ora invisibile, all'aria libera, sotto la medesima temperatura? Aggiungasi che, per quanto debole ella sia, l'irradiazione de' metalli non è però affatto nulla, e che, pertanto, denno anch'essi irrorarsi di rugiada quando l'atmosfera sia talmente umida da lasciar condensare il proprio vapore al menomo abbassamento di temperatura. Ora in questo caso d'irroramento, confermato dall'esperienza, i metalli più ossidabili dovrebbero esser quelli che, secondo l'ipotesi proposta, si bagnassero meno di rugiada; e succede precisamente il contrario, poichè il ferro, tanto facile ad ossidarsi, trovasi molto più bagnato dall'oro, sopra cui l'aria umida non eserciterà nessuna azione chimica conosciuta.

Ma tralasciamo le argomentazioni indirette, e veniamo ad un esperimento il quale dimostra direttamente, che la vera ed unica cagione onde i metalli non si irrorano quasi mai di rugiada, si è il debolissimo loro potere raggiante.

Si procuri un disco di latta sottile, senza saldature, più ampio che sia possibile, e pertugiato nel centro con un forellino non più grande di due millimetri. Sopra una delle sue facce si descriva una circonferenza concentrica d'un raggio uguale ad un terzo di quello del disco, e si dipinga lo spazio interno con parecchie mani di vernice, sicchè rimanga tutt'intorno tersa e pura una fascia circolare, larga quanto la parte inverniciata. Abbiasi un altro disco di latta 10 millimetri meno grande del cerchio dipinto: si saldi nel suo centro, perpendicolarmente alla superficie, una delle estremità di un filo di ferro un poco più grosso di due millimetri, e lungo due o tre decimetri. L'altra estremità, che dovrà essere acuminata, s'introdurrà, dalla parte inverniciata, nel foro centrale del primo disco, che si andrà spingendo e premendo lungo il filo

lastro che sia posato a 5 millimetri di distanza dall'altro, ed ivi si fermerà con una goccia di stagno, ponendo cura che le due superficie restino ben parallele tra loro.

Congiunte per tal modo in un solo sistema, le lamine verranno recate nell'aperta campagna, durante una notte rugiadosa. Colà giunti, si farà in modo d'avere una mazza di legno tenero, lunga due o tre piedi, che si caccerà per un piede circa nel suolo, e vi si pianterà sopra la punta di ferro, finchè le lamine prendano una disposizione orizzontale. Dopo alcuni istanti, passati dappoi, si tornerà verso le lamine con un lanternino acceso, e s'incomincieranno le osservazioni, che dovranno essere frequenti, e potranno eseguirsi lasciando l'apparecchio come sta, o più comodamente, togliendo il ferro dalla mazza, e riponendolo poscia nella posizione di prima. Ed ecco quanto vedrassi succedere invariabilmente, se il cielo resta sereno e l'aria tranquilla.

Rammentiamo prima di tutto che, nella posizione ove si soppongono i due dischi, il minore sta sopra e siccome il suo raggio è 5 millimetri meno grande di quello del circolo centrale dipinto a vernice sul gran disco sottostante, così esso non lo protegge in tutta la sua estensione, e lascia necessariamente scoperta una zona anulare di 5 millimetri di grandezza, più tutta la parte metallica, che forma, come abbiam veduto, un'ampia fascia circolare, larga quanto il diametro del circolo inverniciato. Ora, la rugiada comincia a deporsi sul limite esterno della suddetta zona anulare inverniciata, ne invade in breve tutta la larghezza, e, camminando sempre verso il centro, penetra nella parte sottoposta al tetto formato dal disco soprastante, e vi si propaga più o meno, secondo le circostanze, senza arrivar mai sullo spazio centrale, che rimane sempre asciutto. L'irroramento si manifesta nel medesimo tempo dalla banda opposta sulla fascia metallica che circonda il circolo inverniciato, s'inoltra progressivamente verso la circonferenza e vi giugne anche talora ne' tempi di grande umidità. In qualunque caso, la porzione invasa dalla rugiada oltre i limiti della zona inverniciata esposta all'aspetto del cielo, è molto più ampia dal lato metallico, che dal lato inverniciato.

Ma i fenomeni d'inverniciamento sono assai più curiosi di sotto, perchè ivi vedesi prima apparire, in campo *tutto metallico ed uniforme*, un cerchietto appannato, che per l'aspetto biancastro, e l'improvvisa sua comparsa nel bel mezzo del disco, ricorda le immagini dagherriane. Questo cerchietto si va facendo a poco a poco più ampio, e guadagna terreno inoltrandosi simultaneamente, tanto dal lato degli orli del disco, quanto dal lato del centro; e più nel primo verso che nel secondo. Intanto l'appannamento si tramuta gradualmente in goccioline visibili, le quali aumentano poi di mole, ma disugualmente, le maggiori trovandosi sempre verso la metà del disco, le minori ai limiti opposti della zona rugiadosa, segnatamente dalla parte interna, e, tra queste e quelle, una mirabile regolarità di gradazione. Nella parte centrale resta sempre uno spazio perfettamente terso e lucido. La superficie rugiadosa diffonde per ogni dove i raggi diretti della lanterna e quelli ripercossi dal metallo, ed assume un aspetto argentino e luccicante, piacevolissimo a vedersi.

Tutti questi fatti sono facili a spiegarsi nella teorica della rugiada dedotta dalla irradiazione calorifica.

I punti più sporgenti del cerchio inverniciato sono quelli che dominano una parte più estesa del cielo, e però si raffreddano e si coprono i primi di rugiada; a questi succedono i punti interni più vicini, e così seguitando, per modo che la rugiada si propaga successivamente verso il centro ed occupa tutta la zona coperta di vernice a quei punti sottostanti al tetto metallico che possono vibrare direttamente in cielo qualche raggio del proprio calore. Il freddo dovuto alla somma della irradiazione si trasmette anche per conducibilità nella porzione coperta del disco, ed alcuni punti che non hanno nessuna vista di cielo, vengono irrorati dalla rugiada in forza di questo solo freddo trasmesso dalla lamina metallica, che si perde poi totalmente ad una certa distanza per l'irradiazione, o, più esattamente, per l'assorbimento calorifico della vernice. Ma la propagazione del freddo lungo la lamina e sulla medesima superficie, ha luogo anche sulla fascia metallica che gira intorno al cerchio inverniciato, e

l'irroramento progredisce verso gli orli del disco: le stille di rugiada, deposte in tal guisa sul metallo, si mettono anzi esse ad irradiare, ad abbassare la propria temperatura, e a propagare il freddo concepito: e così, il freddo e la rugiada consecutiva, invadono, a poco, a poco, tutta o quasi tutta la porzione scoperta del disco. In questo secondo caso, il progresso dall' irroramento è dunque maggiore, perchè i punti metallici raffreddati per comunicazione, essendo bagnati, diventano capaci di raffreddarsi direttamente per la loro irradiazione verso il cielo; la quale irradiazione è affatto impossibile, rispetto ai punti inverniciati coperti e difesi dal tetto metallico.

Le apparenze sotto il disco corrispondono esattamente a quelle che han luogo di sopra, perchè *il freddo dovuto alla irradiazione de' punti scoperti si comunica alla parte opposta traversando la lamina*, e però la rugiada vi si trova in quantità più o meno grande, secondo il raffreddamento delle rispettive corrispondenze superiori, e rimangono sul tutto tersi ed asciutti quegli spazi in cui la temperatura del metallo è uguale a quella dall' aria circostante, come succede appunto, atteso la grande sottigliezza della lamina, su tutta la parte centrale, dove l'irraggiamento della vernice verso il cielo non può effettuarsi.

Ma l' esperienza non si presta solamente ad una lucida dimostrazione del principio della formazione della rugiada per virtù del freddo dovuto alla irradiazione dei corpi, anzi possiede l' altro vantaggio di mostrare chiaramente l'insussistenza delle due contrarie ipotesi, della discesa, e dell' innalzamento della rugiada.

In fatti, se la meteora calasse piombando dal cielo, tutte le superficie superiori non riparate dovrebbero trovarsi bagnate di rugiada, ed il piccol disco metallico, che serve di tetto alla massima parte del cerchio inverniciato, rimane lucido ed asciutto. Se poi la rugiada si sollevasse dalla terra, essa dovrebbe bagnare tutta la superficie metallica perfettamente uniforme che guarda il suolo, e le varie parti di questa superficie vengono diversamente irrorate, come quelle di sopra,

—

in guisa che le une e le altre parti restano al tutto terse, e prive d'ogni vestigio di umidità. Dunque non avvi nè rugiada, nè sollevamento della meteora, ma semplice precipitazione del vapore elastico e trasparente diffuso nell'aria circostante ai corpi, la cui irradiazione calorifica verso il ciel sereno, produce il freddo occorrente a siffatta precipitazione, come lo abbiamo dichiaratamente e ripetutamente esposto nelle pagine precedenti.

La superficie inferiore del gran disco, tutta uniforme e metallica in ogni sua parte, ma tersa e lucida nel centro e nella circonferenza, e più o meno irrorata nella parte intermedia secondo il freddo da punti raggiunti superiori, dimostra finalmente, con una evidenza innegabile dai più ostinati oppugnatori del principio di Wells, che se la rugiada non precipita ordinariamente sui metalli, ciò non deriva, nè dalla elettricità nè dal calore risultante dalla loro azione chimica sulle particelle acquee, nè da qualsiasi altra forza atta a respingere il vapore o il liquido precipitato (1), ma unicamente dal debolissimo potere emissivo delle superficie metalliche, incapaci di produrre, sotto l'azione del ciel sereno, quel grado comunque piccolo di freddo, indispensabile alla formazione della rugiada.

Distrutto così irrevocabilmente ogni sofisma intorno all'azione de' metalli nel fenomeno della rugiada, l'evocata ipotesi della formazione di questa meteora, per virtù del vapor caldo esalato dalla terra, cade di nuovo mortalmente ferita per non più rialzarsi. Ma rimettiamola in piedi, e vedremo gli estremi sforzi tentati da suoi partigiani per conservarla in vita.

L'umido interno del suolo non varia gran fatto tra i luoghi situati appiè d'un albero isolato in mezzo al prato e quelli posti ad una certa distanza, eppure non coagula poi certamente quando, dopo una giornata placida e serena, il cielo si copre quietamente di nubi al tramontar del sole. Perchè dunque la

(1) È noto che P. Prevost, ed altri prima di lui, attribuivano il fenomeno in quistione ad una forza elettrica, e che Leslie lo credeva proveniente da una ripulsione particolare tutta propria dei metalli forbiti (On the Relations of air to heat and moisture p. 132).

rugiada scarseggia intorno al fusto dell'albero e sotto i suoi rami più frondosi? Perchè non avvi formazione di rugiada, o debolissima, sotto il cielo rannuvolato? La risposta degli odierni fautori della *moderna teorica dell'esalazione* è tanto curiosa, che per non defraudare i nostri lettori della nuova particella di questo singolar modello di eloquenza didascalica, ci siamo risoluti a trascriverla letteralmente. Essa trovasi inserita in un giornale scientifico fino dal 1832, e quindi riprodotta ed illustrata in un trattato del calorico e della luce pubblicato nel 1846.

» Questo vapore (notturno ascendente dal suolo) che pro-
» cede da una fonte più calda dell'aria, qual è il terreno,
» ascende e si condensa progressivamente ad altezze sempre
» maggiori, ma finchè un fluido specificamente meno pesante
» per maggior temperatura ascende, il calorico che s'impiega
» nell'ascensione non si equilibra; ma se l'ascensione idro-
» statica viene impedita, la temperatura del fluido dee equi-
» librarsi nel luogo dov'è trattenuto. Quindi è che il vapore
» notturno ascendente dal terreno, trattenuto da un coperchio,
» dee riscaldare l'aria e i corpi circostanti più di quello che
» se la sua ascensione non fosse impedita. Così ugualmente
» tolto il coperchio, data libertà al vapore di ascendere, e
» dato l'accesso all'aria circostante più fredda nello spazio
» ch'era stato riscaldato, dee avvenire un pronto raffredda-
» mento. Tutto questo è facile a comprendersi, dove si tratta
» di un coperchio vicino, ma come applicarlo alle nubi tanto
» alte, le quali producono parimenti lo stesso effetto? Eppure
» gli effetti simili devono procedere da cause simili. Che i vapori
» di guazza e di notte ascendano fino alle regioni delle nubi,
» questo è pure incontrastabile. Le nubi alla loro comparsa
» verso il zenit trattengono le notturne colonne di vapore sotto-
» poste nella loro tendenza ascensiva. Il vapore più alto trat-
» tenuto, trattiene esso pure il vapore soggetto, e così da
» vicino a vicino l'arresto dell'ascensione idrostatica arriva
» fino alla terra. Quindi il vapore che continuamente ascende
» dal terreno e che si trova trattenuto, sparge all'intorno il
» suo eccesso di temperatura, che non può impiegare nell'a-

» scensione. Difatto la comparsa delle nubi diminuisce l' evaporazione notturna dello stesso terreno, ed è questo un fatto » che combina colla suddetta spiegazione del riscaldamento » che producono. Il calore pertanto che si rende sensibile di » notte o alla comparsa delle nubi o nel luogo dove un tratto » di terreno sia da vicino coperto, procede dallo stesso ter- » reno, nè da altra sorgente può procedere, perchè non vi » n' è alcun' altra che possa somministrarlo (1). »

Osserviamo, in primo luogo, non esservi nessun fatto che mostri *la diminuzione della evaporazione notturna del terreno per la comparsa delle nubi*, e che sarebbe al tutto inutile, o si cadrebbe nori in una vera petizione di principii rispetto al fenomeno di cui si cerca la spiegazione, volendo arguire la supposta diminuzione di evaporazione nel suolo, dalla diminuzione realmente prodotta nel volume e nella quantità delle stille rugiadose, perchè la diminuzione della rugiada su corpi arrossati è una conseguenza troppo naturale dell' aumento di temperatura manifestato all' apparire delle nuvole.

I fisici troveranno poi del tutto nuovo ed inaspettato il principio che i vapori *ascendono di notte fino alle regioni delle stufe*, avendo essi finora creduto che ciò succedesse bensì di giorno, per virtù dell' aria riscaldata a contatto del suolo dove percuotono i raggi solari, ma nessun di loro sapeva certamente che la stessa cosa avesse luogo durante la notte, quando il terreno è in gran parte prosciugato dall' azione del sole, e quando l' aria si condensa alla superficie terrestre in seguito del raffreddamento de' corpi e vi rimane stabilmente, o vi affluisce dell' alto, se qualche strato nebbioso dell' atmosfera si raffredda direttamente raggiando il proprio calore verso lo spazio.

E qui mi sia lecito il dichiarare che non conosco pertanto nessuna osservazione la quale dimostri il poter raggiare nell' l' aria del tutto limpida e trasparente.

(1) Zantedeschi. Trattato del calorico e della luce. Venezia 1846 parte I. p. 453 e 454. Ann. delle Scienze del Regno Lomb. Ven. 1832 p. 308 309.

Più d' un autore attribuisce a nessun potere quelle minutissime goccioline d' acqua che piovono talora d' estate a cielo sereno, immediatamente dopo il tramonto del sole: a me pare tuttavia assai più conforme alle norme della filosofia naturale, il dedurle da un leggier velo di nebbia, o vapor vescicolare, diffuso negli alti strati dell' atmosfera, per modo da non alterarne sensibilmente l' aspetto sereno: tanto più, che contemplando le moltiplici e leggiadre apparenze che si succedono in cielo quando il sole va sotto l' orizzonte, ho avuto più volte occasione di vedere alcune nuvolette trasportate dal vento sceman a poco a poco di mole e densità, e dileguarsi completamente. Ora questo fatto sembra condurre alla conseguenza che la parte più elevata di tale nuvoletta irradia verso lo spazio, si condensa, precipita allo stato liquido, ed è sostituita dagli strati interni di vapor vescicolare che soffrono le medesime modificazioni: laonde, tutte le parti della nuvola si riducono successivamente in goccioline liquide, le quali si dissipano in seguito e passano allo stato elastico traversando gli strati inferiori dell' atmosfera. D' altra parte, le minute pioggerelle a ciel sereno dopo il tramonto del sole, succedono sempre di estate, e sul principio d' autunno, nelle giornate umide, quiete e calde. Vi è dunque ogni ragion di credere, che allora l' atmosfera trovasi pregna di vapori sino ad una grande altezza, e che la porzione più elevata assume, per virtù del freddo ivi dominante, la forma di vapor vescicolare. L' irraggiamento di questo vapore, che potrà essere in veli tanto leggeri ed uniformi da produrre una tinta biancastra invisibile sull' azzurro del cielo, non si troverà più compensato, dopo il tramonto, dal calore riparatore della terra e dell' atmosfera; vi sarà quindi produzione di freddo e condensazione in goccioline acquee, le quali, precipitando entro uno spazio saturo di umidità, potranno scendere, senza evaporarsi interamente, fino alla superficie terrestre, malgrado la loro minutezza. La spiegazione del fenomeno non conduce dunque necessariamente alla conseguenza che l' aria, perfettamente limpida, sia dotata di poter emissivo, e però trattando della rugiada abbiam fatto astrazione degli alti strati d' aria, che

potrebbero raggiare il proprio calore verso lo spazio, condensarsi e scendere in sul far della sera.

Altre considerazioni ci confermano poi nell'opinione che l'aria degli alti strati atmosferici non entra per nulla nella formazione di questa meteora. Primieramente, suppongasi pure energico quanto si voglia il poter emissivo di questi strati, essi non possederanno mai tanta forza d'irradiazione da raffreddarsi e condensarsi a segno di poter calare fino alla superficie terrestre, perchè presto incontrerebbero strati più densi che li terrebbero in equilibrio. Il pronto riscaldamento di tutti i termometri metallici, lisci o annerati, a contatto de' vegetabili o liberamente sospesi nell'aria, quando una nube traversa, a ciel sereno, lo zenit del luogo d'osservazione, ed il ritorno del freddo primitivo appena terminato quel passaggio, mostrano finalmente che la differenza di temperatura tra l'aria ed i corpi dotati di poter emissivo deriva dalla sola irradiazione di questi corpi verso lo spazio, o almeno, dalla loro superiorità d'irradiazione sull'aria circonfusa. E questa sola nozione, tratta dalle più sicure esperienze, basta, come abbiam veduto, per dedurne le spiegazioni di tutti i fenomeni manifestati.

Ripeto tuttavia che non nego il potere raggiante dell'aria perfettamente limpida, sostengo solamente non essercene finora nessuna prova di fatto, e riuscire al tutto inutile il considerare l'aria freddata per virtù di questa proprietà nella teorica della rugiada.

E per terminare tutto quanto può soggiungersi di ragionevole rispetto all'aria, il cui freddo derivi da tutt'altra cagione che dalla irradiazione de' corpi solidi o liquidi, convengo essere possibile, che alcune porzioni delle colonne aeree sollevate di giorno dal calore della terra scendano di nuovo dopo il tramonto del sole alquanto freddate pel contatto degli strati superiori dell'atmosfera: e voglio eziandio concedere, che quest'aria discesa dall'alto contribuisca alcun poco alla produzione del freddo che si fa sentire, quando il sole cala sotto l'orizzonte, quantunque io tenga per fermo che tale sensazione proviene unicamente dalla irradiazione calorifica diffusa per

la terra e l'atmosfera, la quale sparisce insieme colla irradiazione diretta del sole. Ma questi aria fredda non può essere cagione della rugiada; imperocchè, giunta una volta alla superficie terrestre, essa dovrebbe spandersi, in virtù della sua maggior densità, sotto gli alberi e sotto qualunque altro ostacolo che intercettasse l'aspetto del cielo senza impedirle il suo libero accesso: come sarebbe un panno teso orizzontalmente tre quattro piedi in mezzo ad un ampia prateria, e noi sappiamo, che nella parte centrale di quel tratto di prato sottoposto al panno non avvi una sola stilla di rugiada, quantunque l'umidità vi sia uguale, anzi forse superiore, a quella che regna nell'aria circostante.

Noi sappiamo inoltre, che la rugiada precipita durante tutta la notte: e però, volendo spiegare la sua formazione per virtù dell'aria discesa dal cielo, è d'uopo ammettere che lo strato d'aria generatore della meteora (il quale forma in questa ipotesi la porzione dell'atmosfera da noi denotata dianzi sotto il nome di *strato inferiore*) conservi il proprio freddo sino al levar del sole. E un freddo così tenace si dileguerebbe, come per incanto, al semplice aspetto di una nube che attraversando gli spazi celesti, rende in pochi minuti, la temperatura dello *strato inferiore* uguale a quella dello *strato superiore*?

Si consideri finalmente, che quando il cielo si rannuvola al cader del sole, e rimane coperto sino a due o tre ore dopo mezzanotte, l'erba è tuttavia asciutta nel prato. Ma venga il sereno seguito da una perfetta calma: vi sarà tosto produzione di freddo nello strato inferiore dell'atmosfera, e dopo qualche tempo, l'erba si coprirà di stille rugiadose. Ora, converrebbe avere l'intelletto armato della triplice corazza d'Orazio, per sostenere seriamente che, in tal caso, il freddo manifestato alla superficie terrestre è dovuto al ristabilimento dell'equilibrio atmosferico turbato, nel giorno antecedente, dall'azione del calor solare!

Ma ripigliamo la discussione del periodo ove s'adducono tante belle ragioni per farne capaci del perchè gli alberi e le nuvole esercitino un'azione contraria alla formazione della rugiada.

Abbiam veduto come l'autore e l'illustratore di quel periodo si rivelino l'esistenza, tutta nuova ed inaspettata, di certe *colonne notturne di vapor acqueo riscaldato*, che escono, non

solamente dai terreni umidi, ma ancora da quelli inaariditi, e salgono sempre *ai nella regione delle nubi*, in forza di quella leggiera differenza di temperatura che il termometro segna tra la terra e l'aria. Poco prima avevamo appreso che *il vapor caldo esalato dal suolo* si distingue da qualunque altra specie d'acqua ridotta in vapori per le tre proprietà seguenti, che gli son tutte speciali: 1.° di non condensarsi direttamente allo stato liquido pel contatto dell'aria fredda soprastante; 2.° di precipitare bensì per la via indiretta del freddo comunicato ai vegetabili ed altri corpi esposti all'aria libera; 3.° di scegliere sempre per questa sua precipitazione le sostanze meno conduttrici, lasciando le più proclivi ad abbandonare il proprio calore; quantunque, tanto le une, quanto le altre, vieno immerse nel medesimo strato d'aria fredda.

Ma una proprietà, veramente novissima, insegnataci da questi vapori, si è quella relativa all'azione *de coperchi* più o men vicini al suolo.

Noi avevamo ammesso finora, che per far salire un termometro immerso nel vapor caldo sgorgante dalla bocca di un vase, conveniva rinchiudere ermeticamente lo strumento nel vaso, e continuare a far fuoco. Ma credevamo fermamente che cessando il fuoco, lasciato aperto il vase, ed il termometro fisso in qualunque posizione, il mercurio rimanesse immobile, dove vi accostasse più o meno il coperchio all'apertura del recipiente, e fossero pur grandi quanto si voglia, e coperchio, e recipiente, e quantità d'acqua in esso contenuta, ed apertura donde emana il vapore. Eppure tutto era errore di senso, poichè un termometro liberamente sospeso ne' campi, sente, per virtù del vapore che s'innalza ovunque dalla superficie terrestre, la presenza di un coperchio, non già sodo o massiccio come quelli da cassa o da pentola, ma formato di una sostanza qualunque, anche delle più leggiere e traforate, di stoffa, stuoie, veli, e fronde, o tetto da vetrina, quando in lontananza di cinquanta o sessanta piedi, come le diramazioni superiori degli alberi d'alto fusto.

E la ragione sarebbe facile a comprendersi se fossimo meno ottusi d'intelletto e meno schiavi di quelle ostinate indicazioni termometriche che ci indussero ad ammettere l'irradiazione

calorifica dei corpi verso il cielo. Anzi con un poco di buon volere arriveremmo anche ad intendere, senza ricorrere ai raggi calorifici, la cagione onde il termometro indica, mediante il vapor caldo ascendente dal suolo, la presenza delle nuvole, ed anzi il semplice passaggio di una nube sola soletta a traverso gli azzurri spazi del cielo; e resterebbe pertanto chiarito il fatto *coll'intervento della materia ponderabile attenuata*; forza universale, che basta da se sola a spiegare, non solamente le sostanze gravi che vanno talora unite alle scariche elettriche naturali ed artificiali, ma gli agenti cui dobbiamo i fenomeni della luce, del calore, della elettricità, e del magnetismo, senza escluderne i telegrafi elettromagnetici, le leggi della diffrazione ed il principio d'interferenza. Nè qui cesserebbero i vantaggi di questa fortunata nostra posizione; ed intenderemmo pure la ragione, onde la nuvoletta vagante per le regioni serene del cielo, in vece di accogliere il vapore nel suo seno tutto molle e cedevole, o lasciarlo passare intorno intorno, come avviene nel caso di un disco presentato al fumo di un cammino o d'una caldaia in ebollizione, *debba trattenere l'intera colonna di vapore sottoposta nella sua tendenza ascensiva*; e vedremmo il *vapore più alto trattenuto, trattenere esso pure il vapore soggetto*, e *così da vicino a vicino l'arresto dell'ascensione idrostatica arrivare fino alla terra* (1).

Ma lasciato lo scherzo, e prese le cose nel serio, l'animo si contrista considerando quali frutti deono produrre, nelle menti rozze ed inesperte, queste miserande dottrine insegnate dalle cattedre e da pretesi giornali scientifici! Si respinge il freddo risultante dalla irradiazione notturna de' corpi verso il ciel sereno, dimostrato dalle più semplici ed irrefragabili esperienze, cementato da mille fatti che costituiscono la scienza del calorico raggiante; e si propone, in sua vece, una serie d'ipotesi incoerenti, opposte a tutto quanto si conosce di più sicuro sulla costituzione e l'equilibrio dell'aria e de' vapori; le quali ipotesi non tendono ad altro, finalmente, che a trasferire ne' fluidi ponderabili, le cui emanazioni si veggono

(1) Vedi la nota che precede ed il passo corrispondente del testo

ondeggiare al minimo soffio di vento, quella stessa proprietà di trasmettersi per irradiazione negata ad un principio imponderabile cotanto analogo alla luce, ove la conservazione del moto rettilineo sotto l'agitazione dell'aria, apparisce chiara e manifesta agli occhi di chicchessia. E che sarebbe mai una colonna ricambiata di vapore, la quale fosse trattenuta da un disco orizzontale, o fosse incapace di passar oltre piegandosi intorno agli orli, se non una specie di vapor raggiante?

Io vorrei poter diradicare questa pessima insegnamento dall'intelletto della gioventù che ebbe la disgrazia di lasciarveli allignare, ed ho pertanto creduto di mostrarne tutta l'incongruenza. Ma so bene che siffatto scopo andrebbe fallito, qualora non fosse validamente appoggiato dalla voce autorevole dei lettori di fisica negli stabilimenti d'istruzione pubblica e privata. E però mi dirigo a questi dotti e chiari uomini, e li prego istantemente di ripetere, se non tutte, almeno le principali esperienze contenute nella presente memoria, e ponderarne le conseguenze: e convinti una volta della verità de' fatti e della esattezza della argomentazioni, introdurre gli uni che le altre nelle loro lezioni orali o scritte, procurando, in questa ed in qualunque altra spiegazione razionale de' fenomeni della natura, di esercitare nello stesso tempo i loro allievi a dimostrare il vero, ed a confutare l'errore, che si presenta sempre, più o men celato, sotto il manto della teorica.

Alcuni, dopo di aver eseguita fervente mente una lunga serie d'indagini lusinghiere, si sconfortano ed abbandonano per sempre le speculazioni scientifiche, quando s'accorgono di avere totalmente perduti i frutti delle loro veglie. Altri più ciechi, o più caparbi, perdurano nell'inganno, si guastano l'ingegno, perdono a poco a poco la facoltà del retto raziocinio, ed infestano le biblioteche di opere riboccanti di fatti mal osservati, di esperienze inconcludenti e di conseguenze erronee. E nondimeno, come mai prevedere fino a che punto il complesso di tante forze intellettuali, a male spese sciupate, avrebbe potuto, ben guidato nelle sue prime applicazioni, esser non inutile al veloce progresso della scienza!

FINE